

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Núcleo de Computação Eletrônica

Alexandre Gomes de Carvalho

**CONVERGÊNCIA DADOS E VOZ:
Rede Celular 3G**

Rio de Janeiro

2010

Alexandre Gomes de Carvalho

**CONVERGÊNCIA DADOS E VOZ:
Rede Celular 3G**

Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista em Gerência de Redes de Computadores no Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Gerência de Redes de Computadores e Tecnologia Internet do Núcleo de Computação Eletrônica da Universidade Federal do Rio de Janeiro – NCE/UFRJ.

Orientador:

Moacyr Henrique Cruz de Azevedo, M.Sc., UFRJ, Brasil

Rio de Janeiro

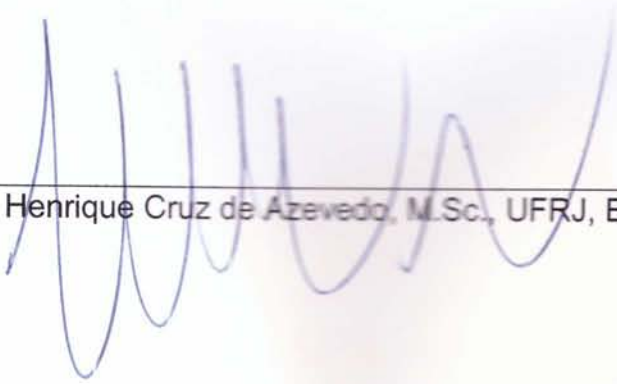
2010

Alexandre Gomes de Carvalho

**CONVERGÊNCIA DADOS E VOZ:
Rede Celular 3G**

Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista em Gerência de Redes de Computadores no Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Gerência de Redes de Computadores e Tecnologia Internet do Núcleo de Computação Eletrônica da Universidade Federal do Rio de Janeiro – NCE/UFRJ.

Aprovada em Abril de 2010.



Moacyr Henrique Cruz de Azevedo, M.Sc., UFRJ, Brasil

RESUMO

CARVALHO, Alexandre Gomes de. **CONVERGÊNCIA DADOS E VOZ: REDE CELULAR 3G**. Monografia (Especialização em Gerência de Redes e Tecnologia Internet). Núcleo de Computação Eletrônica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2010.

A presente monografia tem como propósito discutir as redes de telefonia móvel, dando ênfase nos conceitos e características da Rede WCDMA de 3ª Geração e abordando ainda alguns aspectos relacionados à rápida evolução mundial do setor, bem como o comportamento do público consumidor quanto ao fomento provocado pelo setor industrial que lidera esse ciclo evolutivo.

São apresentados conceitos técnicos, sistêmicos e mercadológicos envolvendo a transição dos sistemas móveis 2.5G para os sistemas convergentes de 3ª geração, a chamada rede 3G, como etapa de evolução das atuais redes GSM para a rede de convergência de serviços.

A primeira parte deste trabalho introduz um breve histórico, a motivação, os conceitos e aspectos inerentes às redes de telefonia móvel.

A segunda parte tem por objetivo discutir os aspectos que levaram o UMTS a ser adotado como a tecnologia mais adequada para a migração das redes GSM para as redes 3G e também busca enfatizar as particularidades encontradas nas redes WCDMA, mais precisamente o tratamento das informações na interface aérea do sistema.

Uma conclusão é apresentada ao final dos estudos, visando levar ao leitor o resultado da avaliação dos aspectos referentes aos processos da migração, aceitação de mercado, oferecimento de serviços, tendências e evolução de mercado.

ABSTRACT

CARVALHO, Alexandre Gomes de. **CONVERGÊNCIA DADOS E VOZ: REDE CELULAR 3G**. Monografia (Especialização em Gerência de Redes e Tecnologia Internet). Núcleo de Computação Eletrônica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2010.

The present monograph aim to give information about mobile telephone networks, emphasizing concepts and featuring related to WCDMA Network of 3rd Generation, besides, taking some aspects involving fast increasing in mobile sector. The behavior of consumers face the evolution cycle promoted by the industries will be discussed too.

Some technical, systemic and market concepts, related to the transition from 2.5G to 3G systems are shown as evolution stage from current GSM networks to the voice and data convergence network.

The first part introduce a brief description, motivation, concepts and topics related to mobile telephone networks.

The second part of the job is concerned to relevant aspects which has taken UMTS to be adopted as the natural transition from GSM to 3G network. It intends to focus WCDMA networks, that is, the air interface more specifically.

At last, a conclusion in order to take to the reader a evaluation result of subjects concerned to migration process, market acceptance, portfolio, services offer, trends and market evolution.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 5.1 – TOPOLOGIA CELULAR	22
FIGURA 6.1 – FASES DAS ESPECIFICAÇÕES GSM	24
FIGURA 6.2 – TOPOLOGIA GSM.....	26
FIGURA 7.1 – COMPONENTES DA ARQUITETURA EM CAMADAS	29
FIGURA 8.1 – MODELO DE REFERÊNCIA 3GPP	33
FIGURA 8.2 - OPERAÇÃO WCDMA EM MODOS FDD E TDD	35
FIGURA 8.3 - TOPOLOGIA WCDMA.....	38
FIGURA 9.1 – ACESSO MÚLTIPLO POR DIVISÃO DE FREQUÊNCIA.....	44
FIGURA 9.2 – ACESSO MÚLTIPLO POR DIVISÃO DO TEMPO.....	45
FIGURA 9.3 – DIRECT SEQUENCE – CODE DIVISON MULTIPLE ACCESS	46
FIGURA 9.4 – COMPOSIÇÃO DO ESPALHAMENTO ESPECTRAL	49
FIGURA 9.5 – TAXA DE BITS DO ASSINANTE E FATOR DE ESPALHAMENTO.....	50
FIGURA 9.6 - ÁRVORE DE CÓDIGOS / CÓDIGO OVSF.....	51
FIGURA 9.7 - BITS E CHIPS	52
FIGURA 9.8 - CÓDIGOS DE CANALIZAÇÃO E CORRELAÇÃO DE CÓDIGOS	53
FIGURA 9.9 - CÓDIGOS DE CANALIZAÇÃO E DE EMBARALHAMENTO	54
FIGURA 9.10 – MODULAÇÃO QPSK	58
FIGURA 9.11 - DPDCH E DPCCH DE <i>UPLINK</i>	61
FIGURA 9.12 - DPDCH E DPCCH DE <i>DOWNLINK</i>	62
FIGURA 9.13 - RECEPTOR RAKE	66
FIGURA 9.14 - RESPIRAÇÃO DA CÉLULA	69
FIGURA 9.15 - CA: CONTROLE DE ADMISSÃO.....	70
FIGURA 10.1 - PRINCÍPIOS DO HSDPA.....	73
FIGURA 10.2 – MODULAÇÃO DE ALTA ORDEM	75
FIGURA 10.3 - CONTROLE DE POTÊNCIA X ADAPTAÇÃO DE TAXA	77
FIGURA 10.4 - ALOCAÇÃO DINÂMICA DE POTÊNCIA.....	78
FIGURA 11.1 - ÁREAS DE APLICAÇÃO	80

LISTA DE TABELAS

TABELA 1.1 – MARCOS DAS COMUNICAÇÕES SEM FIO.....	15
TABELA 6.1 – RECOMENDAÇÕES GSM.....	23
TABELA 6-2 – ATRIBUTOS DO SISTEMA GSM 900 / DCS 1800.....	25
TABELA 8.1 - PRINCIPAIS PARÂMETROS DO WCDMA.....	36
TABELA 14-1 - GSM x WCDMA.....	85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3GPP	<i>Third Generation Partnership Project</i> – Grupo de estudos do ITU-T formado para elaborar as especificações da Rede 3G.
AM	<i>Amplitude Modulation</i> – Modulação em Amplitude.
AMPS	<i>Advanced Mobile Phone System</i> – primeiro padrão analógico de telefonia móvel celular utilizado no Brasil.
AN	<i>Access Network</i> – Rede de Acesso.
ARQ	<i>Automatic Repeat reQuest</i> -
AUC	<i>AUthentication Center</i> – Centro de Autenticação.
BCH	<i>Broadcast Cannel</i> – Canal de Broadcast.
BER	<i>Bit Error Rate</i> – Taxa de Erros de Bit.
BLER	<i>Block Error Rate</i> – Taxa de Erros de Bloco.
BPSK	<i>Binary Phase Shift Keying</i> – esquema de modulação utilizado na transmissão de sinais em redes sem fio.
BS	<i>Base Station</i> – Estação Base.
BSC	<i>Base Station Controller</i> – Controladora de Estação Base.
BSS	<i>Base Station Subsystem</i> – subsistema de estação base.
BTS	<i>Base Transceiver Station</i> – Estação Base Transmissora.
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i> – método de acesso a canal utilizado por várias tecnologias de comunicação. Seu conceito básico consiste na idéia de permitir o envio de várias informações simultâneas sobre um único canal de comunicação, permitindo que usuários compartilhem a mesma banda de frequência através de espalhamento espectral.
CDMA 2000	Padrão da família de tecnologias 3G de telefonia móvel. Baseado no CDMA para envio de voz, dados e sinalização entre telefones móveis.
CGR	Cento de Gerência de Rede. Do inglês NMC (<i>Network Management Center</i>).
CEPT	<i>European Conference of Postal and Telecommunications Administrations</i> . Órgão criado em 26/06/1959 como coordenador de telecomunicações e organizações postais européias. A sigla CEPT é originada do francês <i>Conférence européenne des administrations des postes et des télécommunications</i>
CN	<i>Core Network</i> – Núcleo da Rede.
CS	<i>Circuit Switched</i> – Comutação de Circuitos.
CSPDN	<i>Circuit Swtched Public Data Network</i> – Rede Pública de Dados Comutados por Circuito.
D-AMPS	<i>Digital-AMPS</i> – evolução digital do padrão AMPS.
DCH	<i>Dedicated Channel</i> – Canal Dedicado.
DECT	<i>Digital Enhanced Cordless Telecommunications</i> – conhecido como <i>Digital European Cordless Telephone</i> até 1995, é um padrão para telefones digitais portáteis, comumente utilizados para fins domésticos e comerciais.
DPCCH	<i>Dedicated Physical Control Channel</i> – Canal Físico Dedicado de Controle
DPDCH	<i>Dedicated Physical Data Channel</i> – Canal Físico Dedicado de Dados

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS (continuação)

DPLM	<i>Domestic Public Land Mobile</i> - Rede Móvel Pública Doméstica Terrestre.
DS-CDMA	<i>Direct Sequence CDMA</i> – Técnica de espalhamento espectral de Sequência Direta em Múltiplo Acesso por Divisão de Código.
DSSS	<i>Direct Sequence Spread Spectrum</i> – Espalhamento Espectral por Sequência Direta.
EDGE	<i>Enhanced Data rates for GSM Evolution</i> – tecnologia compatível com redes móveis digitais, capaz de elevar a taxa útil de transmissão de dados.
EIR	Equipment Identity Register – Registro de Identificação de Equipamento.
ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i> – é uma organização independente e sem fins lucrativos, voltada à padronização do mercado de telecomunicações europeu, através da regulamentação dos equipamentos produzidos e funcionamento das operadoras de rede.
FACH	<i>Forward Access Channel</i> - Canal de Acesso à Frente.
FCC	<i>Federal Communications Commission</i> – órgão regulador da área de telecomunicações e radiodifusão dos Estados Unidos.
FDMA	<i>Frequency Division Multiple Access</i> – método de acesso a canal amplamente utilizado por tecnologias de comunicação analógicas. Consiste em dividir as informações dos usuários em banda de frequência distintas.
FM	<i>Frequency Modulation</i> – Modulação em Frequência.
GERAN	<i>GSM EDGE Radio Access Network</i>
GGSN	<i>Gateway GPRS Support Node</i> – Gateway de Suporte GPRS.
GMSC	<i>Gateway MSC</i> .
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i> – Serviço de Rádio de Pacote Geral.
GSM	<i>Global System for Mobile communications</i> – Sistema Global para Comunicações Móveis. Sigla originada de <i>Groupe Spécial Mobile</i> . Padrão de rede celular mais popular em todo o mundo.
HLR	Home Location Register – Registro de Localização de Usuário Local.
HSDPA	<i>High-Speed Downlink Packet Access</i> – protocolo da família HSPA (<i>High-Speed Packet Access</i>) incorporado às redes UMTS para proporcionar aumento das taxas de transmissão de dados de <i>downlink</i> .
HS-DSCH	<i>High Speed Downlink Shared Channel</i> – Canal de Downlink Compartilhado para Alta Velocidade.
IMS	<i>IP Multimedia Subsystem</i> .
IMT-2000	<i>International Mobile Telecommunications-2000</i> – mais conhecido como 3G (terceira geração), representa uma família de padrões definidos pelo ITU para comunicações móveis. Inclui GSM EDGE, UMTS, CDMA2000, DECT e WiMAX.
IMTS	<i>Improved Mobile Telephone System</i> - geração pré-celular constituída de sistema rádio VHF/UHF interligado às PSTN.
ISDN	<i>Integrated Services Digital Network</i> – Rede de Serviços Digitais Integrados.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS (continuação)

ITU	International Telecommunication Union – União Internacional de Telecomunicações.
MAC	<i>Media Access Control</i> – subcamada de controle de acesso ao meio.
MAC-HS	<i>Media Access Control for High Speed data</i> – subcamada de controle de acesso ao meio para dados em alta velocidade.
ME	<i>Mobile Equipment</i> – Equipamento Móvel.
MGW	<i>Media Gateway</i> – Gateway de Mídia.
MS	Mobile Station – Estação Móvel.
MSC	<i>Mobile Switching Center</i> – Centro de Comutação Móvel.
MT	<i>Móble Terminal</i> – Terminal Móvel.
NMC	Network Management Center – Centro de Gerência de Rede.
NMT	<i>Nordic Mobile Telephone</i> – primeiro sistema de telefonia celular totalmente automático.
NSS	Network Switch Subsystem – Subsistema de Comutação da Rede
OMC	Operation and Maintenance Center – Centro de Operação e Manutenção.
OVSF	<i>Orthogonal Variable Spreading Factor</i> – Fator de Espalhamento Ortogonal Variável.
PCH	<i>Paging Channel</i>
PDP	<i>Packet Data Protocol</i> – Protocolo utilizado na transferência de dados em redes móveis celulares.
PDN	<i>Packet Data Network</i> – Rede de Pacotes de Dados.
PS	<i>Packet Switched</i> – Comutação de Pacotes.
PSPDN	<i>Packet Switched Public Data Network</i> – Rede Pública de Dados Comutados por Pacotes.
PSTN	<i>Public Switched Telephone Network</i> – Rede de Telefonia Fixa Comutada.
PTT	<i>Push-to-Talk</i> – comunicação realizada em um sentido por vez.
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i> – esquema de modulação utilizado na transmissão de sinais em alta velocidade das redes sem fio.
QPSK	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i> – esquema de modulação utilizado na transmissão de sinais em redes sem fio.
RACH	<i>Random Access Channel</i> – Canal de Acesso Aleatório.
RAN	<i>Radio Access Network</i> – Rede de Acesso por Rádio.
RNC	<i>Radio Network Controller</i> – Controladora da Rede de Rádio.
RNS	<i>Radio Network System</i> – Sistema de Redes de Rádio.
RX	Recepção ou receptor (de sinais).
SCF	<i>Service Control Functionality</i> – Funcionalidade de Controle de Serviço.
SCP	<i>Service Control Point</i> – Ponto de Controle de Serviço.
SGSN	<i>Serving GPRS Support Node</i> – Nó de Suporte aos Serviços GPRS.
SIM	<i>Subscriber Identity Module</i> – Module de Identidade do Assinante.
SIR	<i>Signal-to-Interference Rate</i> - Relação Sinal/Interferência.
SMS-GMSC	<i>Short Message Service GMSC</i> – Serviço de Mensagem Curta por GMSC.
SMS-IW MSC	<i>Short Message Service Interworking MSC</i> – Serviço de Mensagem Curta por Inter-funcionalidade MSC.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS (continuação)

SNR	<i>Signal Noise Rate</i> – Relação Sinal-Ruído.
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i> – Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo. Técnica que consiste na alocação de até seis fontes de informação distintas no mesmo canal através de sua ocupação durante curtos períodos.
TFCI	Transport Format Combination Indicator. sequência de bits de comando <i>contida</i> no DPCCH.
TPC	<i>Transmit Power Control</i> – sequência de bits de comando <i>contida</i> no DPCCH.
TTI	<i>Transmission Time Interval</i> – Intervalo de Tempo de Transmissão.
TX	Transmissão ou transmissor (de sinais).
UE	<i>User Equipment</i> – Equipamento do Usuário.
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i> – um dos padrões de telecomunicações móveis de terceira geração (3G) existentes hoje no mercado.
USIM	<i>UMTS Subscriber Identity Module</i> .
UTRAN	<i>UMTS RAN</i> .
VLR	Visitor Location Register – Registro de Localização de Usuário Visitante.
WCDMA	<i>Wideband Code Division Multiple Access</i> – método de acesso a canal utilizado em redes 3G padronizadas pelo 3GPP.
WiMAX	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i> – tecnologia de telecomunicações que permite transmissão de dados sem fio em alta velocidade, utilizando diferentes modos de transmissão; de links ponto-multiponto para acesso internet portátil ou móvel.
WRC	<i>World Radiocommunication Conference</i> – grupo organizado pelo ITU para revisar e, se necessário, editar as regulamentações dos sistemas via rádio incluídos nos tratados governamentais de uso do espectro de rádio frequência, dos satélites geo estacionários e não estacionários.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	HISTÓRICO DAS COMUNICAÇÕES SEM FIO	14
2	MOTIVAÇÃO	17
3	OBJETIVOS.....	18
4	REFERENCIAL TEÓRICO	19
5	EVOLUÇÃO.....	21
6	REDES GSM – 2,5 G.....	23
6.1	CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA	24
6.2	TOPOLOGIA.....	26
7	CONVERGÊNCIA.....	28
7.1	ARQUITETURA EM CAMADAS	29
7.2	INTEGRAÇÃO DE SERVIÇOS.....	30
8	TECNOLOGIA 3G	31
8.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	31
8.2	UMTS.....	31
8.3	CENÁRIO.....	32
8.4	MODELO DE REFERÊNCIA 3GPP.....	32
8.5	WCDMA.....	33
8.6	COMPONENTES DA REDE WCDMA	36
8.6.1	Rede WCDMA de Acesso por Rádio	36
8.6.2	Core Network WCDMA/GSM	37
8.6.3	Estação Móvel e Cartão SIM	40
9	A REDE DE RÁDIOS.....	42
9.1	ESPECTRO DE FREQUÊNCIA.....	42
9.2	CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DO WCDMA.....	42
9.3	RESUMO DAS TECNOLOGIAS DE ACESSOS MÚLTIPLOS.....	43
9.3.1	Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência (FDMA).....	43
9.3.2	Acesso Múltiplo por Divisão do Tempo (TDMA)	44
9.3.3	Acesso Múltiplo por Divisão de Código (CDMA)	45
9.3.4	DS-CDMA.....	46
9.3.5	Wideband CDMA (WCDMA).....	47
9.4	VANTAGENS E DESVANTAGENS DO ESPALHAMENTO ESPECTRAL	47
9.5	PRINCÍPIOS DO ESPALHAMENTO (SPREADING)	48
9.6	GRUPOS DE CÓDIGO DE ESPALHAMENTO.....	51
9.6.1	Códigos de Canalização.....	51
9.6.2	Ortogonalidade e Correlação.....	53
9.6.3	Códigos de Embaralhamento (<i>Scrambling</i>).....	54
9.7	MODULAÇÃO.....	58
9.8	CANAIS DE TRANSPORTE	59
9.8.1	<i>Dedicated Channel (DCH)</i>.....	59

9.8.2	Broadcast Channel (BCH)	59
9.8.3	Forward Access Channel (FACH)	59
9.8.4	Paging Channel (PCH)	59
9.8.5	Random Access Channel (RACH)	60
9.9	CANAIS FÍSICOS	60
9.9.1	Dedicated Physical Data Channels uplink (DPDCH)	60
9.9.2	Dedicated Physical Control Channel uplink (DPCCH)	61
9.9.3	Dedicated Physical Data/Control Channel downlink	62
9.10	ASPECTOS DO DS-CDMA	62
9.10.1	Controle de Potência	63
9.10.1.1	Controle de Potência <i>Open Loop</i>	63
9.10.1.2	Controle de Potência <i>Inner-Loop</i> (Rápido)	64
9.10.1.3	Controle de Potência <i>Outer-Loop</i> (Lento)	65
9.10.2	Handover	65
9.10.2.1	Receptor RAKE	65
9.10.2.2	Situações de <i>Handover</i>	67
9.10.2.3	Handover Intra-Frequência (<i>Soft/Softer Handover</i>)	67
9.10.2.4	Handover Inter-Frequência (<i>Hard Handover</i>)	69
9.10.3	Respiração da Célula	69
10	PRINCÍPIOS BÁSICOS DO HSDPA	72
10.1	PRINCÍPIOS GERAIS	73
10.2	AGENDAMENTO DEPENDENTE DO CANAL DE RÁDIO	74
10.3	ARQ HÍBRIDO COM <i>SOFT COMBINING</i>	74
10.4	TRANSMISSÃO COMPARTILHADA NO CANAL	74
10.5	TTI REDUZIDO (2 MS)	74
10.6	MODULAÇÃO EM ALTA ORDEM	75
10.7	RÁPIDA ADAPTAÇÃO DE LINK	76
10.8	ALOCAÇÃO DINÂMICA DE POTÊNCIA	77
11	SERVIÇOS	79
11.1	TIPOS DE APLICAÇÕES	79
12	METODOLOGIA DE PESQUISA	81
13	ASPECTOS MERCADOLÓGICOS	82
14	CONCLUSÕES	84
15	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86

1 INTRODUÇÃO

As telecomunicações móveis são atualmente o setor que apresenta o maior ritmo de crescimento e maior aceitação no segmento de tecnologia da comunicação. A possibilidade de se efetuar e receber chamadas a partir de um terminal móvel sem fios, qualquer que seja a localização, é uma das grandes atrações oferecidas aos consumidores.

A oportunidade de negócio está longe de estar esgotada, pois, a partir desse novo conceito, cada cidadão, e não cada casa, é um potencial assinante móvel, incluindo as camadas etárias mais jovens. Não surpreende o fato de que o crescimento do mercado das comunicações móveis supera quaisquer outros mercados das telecomunicações. Introduziram diversos conceitos nas telecomunicações, por exemplo, um número de telefone deixou de estar associado a um local, como acontecia com a rede fixa antes de iniciada a portabilidade, para estar associado a uma pessoa, qualquer que seja o local onde ela se encontre.

A telefonia celular em especial é um grande sucesso porque foi cuidadosamente desenvolvida e testada, é economicamente viável, capaz de despertar o interesse e criar necessidade nos consumidores, gerando contínuas inovações com produtos de qualidade e eficiência. Conseguiu atingir as pessoas de todos os lugares do planeta, mudando substancialmente seu cotidiano e propiciando mais qualidade, segurança e mobilidade nas comunicações, além de agregar novos serviços e facilidade à vida do homem moderno.

1.1 HISTÓRICO DAS COMUNICAÇÕES SEM FIO

O início da comunicação móvel acompanhou de perto a trilha aberta com a invenção do rádio no fim do século XIX. Os relatos indicam que as primeiras aplicações móveis por rádio foram dadas à navegação e segurança das

embarcações no mar. Os principais marcos no desenvolvimento das comunicações sem fio estão resumidos na Tabela 1.1:

Tabela 1.1 – Marcos das Comunicações Sem Fio

Data	Descrição
1906	Reginald Fessenden transmite voz humana sobre rádio. Até essa época, as comunicações de rádio consistiam em transmissão de Código Morse.
1915	J. A. Fleming inventa a válvula, tornando possível a construção de rádios móveis.
1921	A polícia de Detroit utiliza a frequência de 2MHz para estabelecer a primeira comunicação móvel por rádio. O sistema funcionava em apenas um sentido, o policial precisava de telefone convencional para responder às mensagens.
1930 (década)	Sistemas móveis em dois sentidos (<i>two-way</i>) sobre técnica de modulação AM (<i>Amplitude Modulation</i>) foram implantados nos EUA, levando vantagem com o desenvolvimento de novos transmissores. Utilizavam a tecnologia <i>half-duplex</i> or PTT (<i>push-to-talk</i>) para a comunicação.
1935	A invenção da modulação FM (<i>Frequency Modulation</i>) melhora a qualidade da transmissão de voz. A utilização da tecnologia FM resultou na diminuição do volume dos transmissores e da potência de operação do sistema.
1940 (década)	A FCC (<i>Federal Communications Commission</i>) reconhece um serviço de comunicação identificado como DPLM (<i>Domestic Land Public Mobile</i>). O primeiro sistema DPLM foi estabelecido em St. Louis em 1946 e utilizou a banda de 150 MHz.
1947	D. H. Ring, trabalhando nos Laboratórios Bell visiona o conceito de telefonia celular.
1948	Shockley, Bardeen e Brittain, nos Laboratórios Bell, inventam o transistor, que possibilita a miniaturização dos equipamentos eletrônicos.
1964	AT&T apresenta o IMTS (<i>Improved Mobile Telephone System</i>).
1968	FCC inicia o processo de alocação de frequência para as novas demandas de utilização do espectro nos EUA.
1969	Dinamarca, Finlândia, Noruega e Suécia firmam acordo de formação de um grupo para estudar e recomendar áreas de cooperação em telecomunicações, levando à padronização das telecomunicações todos os membros no NMT (<i>Nordic Mobile Telephone</i>).
1970	Tem início o desenvolvimento de sistemas militares baseados na tecnologia CDMA.
1973	NMT especifica funcionalidade que permite a localização de telefones móveis na rede. Essa especificação viria a ser a base para a realização de <i>roaming</i> ¹ nas redes celulares.

¹ roaming - designa a habilidade de um usuário de uma rede para obter conectividade em áreas fora da localidade geográfica onde está registrado, ou seja, obtendo conectividade através de uma outra rede onde é visitante.

Data	Descrição
1979	FCC autoriza instalação e testes do AMPS (<i>Advanced Mobile Phone System</i>) com canais de 25 kHz, primeiro sistema celular em desenvolvimento nos EUA (<i>Illinois Bell Telephone Company</i>)
1981	Na Arábia Saudita, lançamento do primeiro sistema móvel celular baseado no padrão analógico NMT 450.
1982	É iniciado o desenvolvimento do GSM, originalmente denominado “ <i>Groupe Spécial Mobile</i> ”, formado pelo CEPT (<i>European Conference of Postal and Telecommunications Administrations</i>).
1987	Lançamento do primeiro sistema celular digital IS-54 e IS-136 (D-AMPS), utilizando a tecnologia TDMA como acesso.
1991	Lançamento do sistema celular GSM (<i>Global System for Mobile communications</i>) na Finlândia, através da operadora Radiolinja.
1992	WRC-92 (<i>World Radiocommunication Conference</i>) em <i>Mobile</i> designa as frequências para uso futuro no UMTS (<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>). Os intervalos de frequências 1885 – 2025 MHz e 2110 – 2200 MHz foram adotados para utilização no IMT-2000.
1994	Início da operação comercial do padrão D-AMPS nos EUA.
1995	Em fevereiro, é criada a <i>UMTS Task Force</i> . Com ela, é elaborado o relatório “A Estrada para o UMTS”.
1995	Início da operação comercial do padrão CDMA em Hong Kong e na Coreia.
1996	Fórum UMTS é criado durante encontro inaugural em Zurich na Suíça. Desde o evento, o padrão WCDMA Europeu ficou conhecido como UMTS.
1998	Realizada a primeira chamada WCDMA em Tóquio no Japão.
1999	ETSI finaliza a padronização das especificações referentes ao UMTS <i>Release 1999</i> .
2000	Lançamento comercial da primeira rede GPRS .
2000	Coreia lança comercialmente primeira rede CDMA2000.
2001	Realizada a primeira chamada de voz WCDMA sobre uma rede em operação comercial.
2002	Elaborado o padrão UMTS <i>Release 5</i> .
2002	Chamada de voz com handover bem sucedido entre redes comerciais GSM e 3G WCDMA.
2004	Chamada de dados com handover bem sucedido entre redes comerciais GSM/EDGE e 3G WCDMA.
2004	Elaborado o padrão UMTS <i>Release 6</i> .
2005	Obtida a taxa de 9Mbps com HSDPA fase sobre WCDMA.
2006	Obtida a taxa de <i>uplink</i> de 1,5 Mbps em rede operacional sobre sistema WCDMA 3G.

2 MOTIVAÇÃO

Os acessos sem fio aos sistemas de telecomunicações têm mostrado um crescimento exponencial nos últimos anos e rapidamente caminham para ultrapassar os acessos fixos convencionais. Interessante o fato de que em pouco mais de 20 anos a telefonia móvel atingiu a penetração de mercado apresentada pela utilização dos serviços de telefonia fixa convencional em cerca de 100 anos.

O telefone celular há muito deixou de ser artigo de luxo, privilégio de poucos, inacessível e caro para muitos. A ampliação da oferta, decorrente de sua fabricação em larga escala, transformou o celular em um produto mais barato e popular, utilizado como um dispositivo eletroeletrônico, parte do cotidiano de qualquer indivíduo.

Fomentada pela mobilidade, novos serviços, comodidade e essencialmente pela Internet, que remete à necessidade de convergência das tecnologias de telefonia móvel com as redes de comunicação de dados, a motivação para a entrada do sistema de terceira geração (3G) é expressa através do interesse cada vez maior dos usuários por serviços como a troca de mensagens, imagens e músicas, acesso à rede de dados e demandas por vídeos, possibilitando assistir TV e realização de vídeo conferências.

Vislumbrando essa possibilidade, muito antes de esgotado todo o potencial dos outros sistemas da geração 2 e 2,5, as pesquisas em tecnologias de terceira geração foram iniciadas com o objetivo de estabelecer um padrão mundial que possibilitasse consolidar o roaming global e o atendimento a todas as necessidades que os usuários sinalizavam esperar da evolução do próximo sistema móvel.

3 OBJETIVOS

Através da análise de um conjunto de fatores como a estrutura das redes, tendências, objetivos de mercado, interoperabilidade e estudo das técnicas relacionadas ao meio físico do sistema de acesso, serão discutidos os aspectos relacionados ao estabelecimento do padrão UMTS (3G), potencialmente mais moderno, atraente comercialmente, multi-serviços por excelência e com garantia de qualidade de serviço, segundo as premissas adotadas na legislação brasileira aliadas às orientações da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL).

4 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico da pesquisa está baseado no estudo de caso da implantação, noções sistêmicas e conceitos da interface aérea aplicados à planta de uma rede de telefonia móvel convergente WCDMA de 3ª geração em que coexistem aplicações de dados e voz, assistidas por controle de banda e garantia de qualidade.

Para a apresentação e desenvolvimento de quais as formas possíveis de se conduzir a migração da telefonia celular atual para o sistema móvel de terceira geração, a pesquisa está dividida na forma abaixo:

- ✓ Evolução
- ✓ Redes 2,5 G
 - Características do Sistema
 - Topologia
- ✓ Convergência
 - Arquitetura em Camadas
 - Integração de Serviços
- ✓ Tecnologia 3G
 - Considerações Iniciais
 - UMTS
 - Cenário
 - Modelo de Referência 3GPP
 - WCDMA
 - Componentes da Rede WCDMA
- ✓ A Rede de Rádios
 - Espectro de Frequência
 - Características Básicas do WCDMA

- Resumo das Tecnologias de Acesso Múltiplo
- Vantagens e Desvantagens do Espalhamento Espectral
- Princípios do Espalhamento (*Spreading*)
- Grupos de Código de Espalhamento
- Modulação
- Canais de Transporte
- Canais Físicos
- Aspectos do DS-CDMA
- ✓ Princípios Básicos do HSDPA
 - Princípios Gerais
 - Agendamento Dependente do Canal de Rádio
 - ARQ Híbrido com *Soft Combining*
 - Transmissão Compartilhada no Canal
 - TTI Reduzido
 - Modulação em Alta Ordem
 - Rápida Adaptação de Link
 - Alocação Dinâmica de Potência
- ✓ Serviços
 - Tipos de Aplicações
- ✓ Metodologia de Pesquisa
- ✓ Aspectos Mercadológicos
- ✓ Conclusões
- ✓ Referências Bibliográficas

Quadro referencial teórico estabelecido a partir da leitura de [1], [3], [4] e [5].

5 EVOLUÇÃO

A tecnologia das Telecomunicações Móveis não é de forma alguma advento recente, é um conceito com cerca de 50 anos. Aparelhos montados em veículos já existem a 40 ou 50 anos, na época, sistemas extremamente dispendiosos e, portanto, de baixa aceitação. Foi a partir dos anos 80 que as telecomunicações móveis começaram a crescer, com a entrada em funcionamento de diversos sistemas baseados em tecnologias analógicas. Nos anos 90 entraram em funcionamento as tecnologias digitais, seguido do desejo de consumo dos serviços móveis celulares; fenômeno jamais visto no setor de comunicações [1].

A capacidade de integração em larga escala alcançada nos anos 70 e o desenvolvimento dos microprocessadores foram a porta aberta para o crescimento da oferta na área dos móveis. Apareceram então os sistemas de 1ª Geração, sendo sistemas desenvolvidos dentro de limites nacionais ou de fabricantes, estando bastante limitados em termos de crescimento. O surgimento das tecnologias celulares foi o marco principal no panorama das comunicações móveis.

O conceito de células aparece como sendo o de áreas separadas, servidas pelo mesmo canal de rádio. Surge da necessidade de utilização de diversos canais de rádio, assim como da necessidade de mobilidade do móvel sem nunca perder o sinal de rádio, tirando partido da limitada distância de propagação de ondas de alta frequência. Em vez de aumentar a potência de transmissão, os sistemas celulares são baseados no conceito de reutilização de frequência: a mesma frequência pode ser reutilizada em diferentes locais, desde que estejam a uma distância mínima entre si. Assim, quanto menor for o tamanho das células, maior será o número de canais que podem ser utilizados simultaneamente na área constituída por diversas células.

Como pode ser observado na Figura 5.1, a área de cobertura das células é didaticamente representada de forma hexagonal. A distribuição de frequências pelas diversas células depende do tráfego, mas deve sempre considerar a possível interferência de outra célula com a mesma frequência (interferência co-canal).

O conceito celular foi introduzido pelos *Laboratórios Bell* e foi motivo de estudo em várias partes do mundo durante os anos 70.

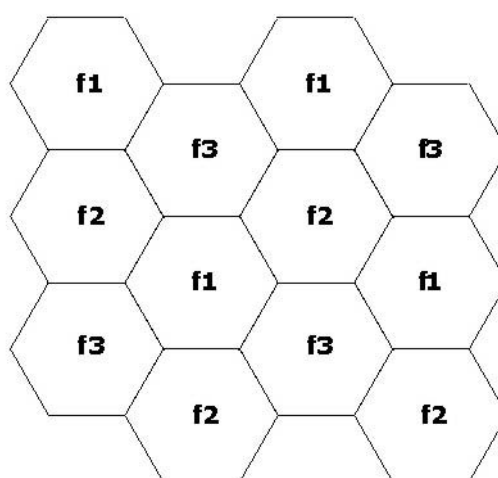


Figura 5.1 – Topologia Celular

6 REDES GSM – 2,5 G

As especificações GSM não impõem requisitos em termos de hardware, mas especificam em pormenor as funcionalidades e interfaces das diversas entidades envolvidas no sistema. Isto permite que os fabricantes evoluam em termos de hardware, mas, simultaneamente, permite que os utilizadores e operadores adquiram equipamento de diferentes origens. As recomendações GSM são constituídas por 12 séries listadas na Tabela 6.1. A norma foi registrada sob a sigla GSM, passando a significar “*Global System for Mobile communications*”, com o seguinte logotipo:



Tabela 6.1 – Recomendações GSM

Série	Conteúdo
01	Generalidades
02	Aspectos do Serviço
03	Aspectos da Rede
04	Interface e protocolos MS-BSS
05	Camada física do percurso rádio
06	Especificação da codificação de voz
07	Adaptador terminal para a MS
08	Interface BSS-MSC
09	Interfuncionamento de redes
10	Interfuncionalidade de serviços
11	Especificações de equipamento e de fabrico
12	Operação e Manutenção

No fim dos anos 80, por falta de tempo devido às muitas pressões para que o sistema começasse a ser comercializado, a comunidade GSM não conseguiu terminar as especificações para toda a gama de serviços e potencialidades a que tinham-se propostos. Assim nasceu a fase 1 da normalização, constituída por um

limitado conjunto de serviços e potencialidades. O objetivo da fase 2 era terminar todas as potencialidades e características que tinham ficado pendentes na fase anterior (ver Figura 6.1).

A fase 1 das especificações GSM está encerrada para quaisquer modificações ou melhoramentos. Os resultados da primeira fase de recomendações serviram não apenas de plataforma para continuar o desenvolvimento do GSM, mas definiram também uma série de serviços e características do sistema. A terceira fase de normalização, a fase 2+ pretende cobrir potencialidades relacionadas com os assinantes, tais como múltiplos números atribuídos ao mesmo assinante, bem como potencialidades ao nível dos negócios.

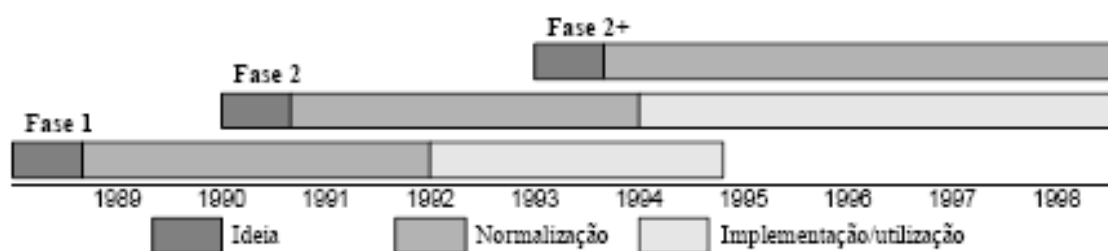


Figura 6.1 – Fases das Especificações GSM

6.1 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA

A opção por determinadas características do sistema GSM nem sempre foi fácil, necessitando-se avaliar diferentes escolhas e analisar as vantagens e desvantagens de cada opção. Depois de ficar decidido a opção por uma transmissão digital, era necessário decidir também o tipo de acesso de rádio e a largura de banda.

O sistema GSM utiliza como tipo de acesso o TDMA – *Time Division Multiple Access*, no qual cada portadora é dividida em oito janelas temporais. A estação móvel recebe e envia na mesma janela temporal, o que significa que cada portadora

suporta oito conversas em simultâneo. As características do sistema podem ser visualizadas na Tabela 6-2.

Tabela 6-2 – Atributos do sistema GSM 900 / DCS 1800

ATRIBUTO	GSM 900	DCS 1800
Norma	ETSI GSM serie 01 a 12	
Frequências utilizadas (MHz)	890 – 915 935 – 960	1710 – 1785 1805 – 1880
Faixa de frequências disponível (MHz)	25 + 25	75 + 75
Modo de acesso	TDMA / FDMA	
Espaçamento dos canais de rádio (kHz)	200	
Separação entre canais de radio de cada sentido (MHz)	45	95
Número de canais de rádio por sentido	124	374
Número de canais de voz por canal de rádio	8 – taxa total de banda 16 – taxa parcial de banda	
Tipo de transmissão	Digital	
Taxa do canal de rádio (kbps)	270	
Tipo de codificação	RPE-LTP	
Modulação	GMSK	
Proteção de canal C/I (dB)	9	
Proteção do canal adjacente (dB)	60	
Roaming	Sim	
Handover	Sim	
Potência máxima do móvel (W)	8 (+39 dBm)	4
Sensibilidade de recepção do móvel (dBm)	-102	-100
Raio máximo de células (Km)	30	8
Taxa útil máxima por canal do voz (bits/s)	9600	
Salto de frequência	Sim	
Cartão de assinante	Sim	
Autenticação	Sim	
Codificação na interface de rádio	Sim	
Duração da trama (ms)	4,615	
Tráfego	$\leq 1\ 000\ \text{erl/km}^2$	

6.2 TOPOLOGIA

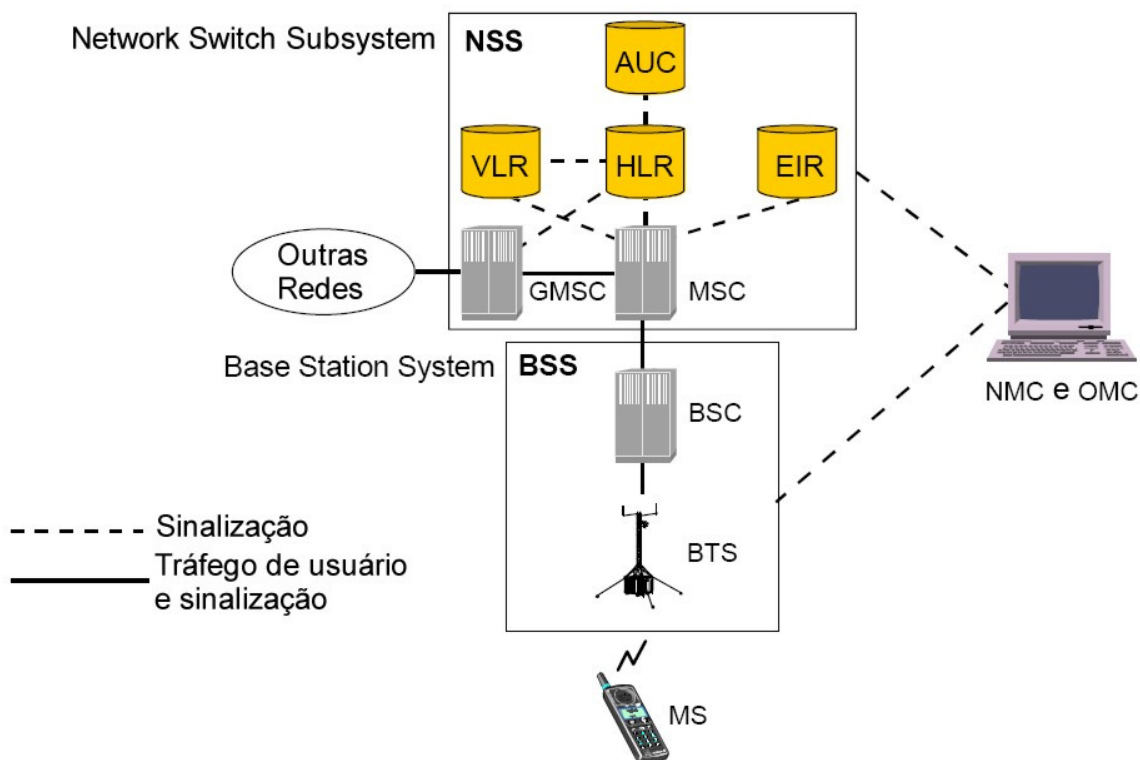


Figura 6.2 – Topologia GSM

A rede móvel GSM é dividida em dois subsistemas que compreendem elementos individuais que, por sua vez, são representados por unidades funcionais. Os subsistemas são:

- Network Switch Subsystem (NSS) – subsistema de comutação da rede.
- Base Station Subsystem (BSS) – subsistema de estação base.

O subsistema de comutação da rede é responsável pelo processamento das chamadas e outras funções relacionadas ao usuário. As unidades funcionais que formam o NSS são:

- MSC – *Mobile Switching Center* (Centro de Comutação Móvel).
- HLR – *Home Location Register* (Registro de Localização de Usuário Local).
- VLR – *Visitor Location Register* (Registro de Localização de Usuário Visitante).
- AUC – *Authentication Center* (Centro de Autenticação).
- EIR – *Equipment Identity Register* (Registro de Identificação de Equipamento).

O subsistema de estação base trata das funções relativas ao sistema de rádio e é formado por:

- BSC – Base Station Controller (Controladora de Estação Base).
- BTS – Base Transceiver Station (Estação Base Transmissora).

Assim como em todos os demais sistemas de telecomunicações, é necessária a instalação de centros informatizados através dos quais a rede GSM é operada, mantida e gerida remotamente. Esse ambiente é chamado de Centro de Gerência de Rede (NMC, *Network Management Center*) ou Centro de Operação e Manutenção (OMC, *Operation and Maintenance Center*). O OMC é implementado de maneira a acessar ambos os subsistemas (NSS e BSS) e abrange várias funções, dentre elas, monitoração do tráfego e de alarmes da rede.

MS representa o equipamento do cliente (*Mobile Subscriber*). Não pertence a quaisquer subsistemas.

A Figura 6.2 mostra a topologia de uma rede GSM destacando os subsistemas NSS e BSS, bem como os elementos de redes que os formam.

7 CONVERGÊNCIA

WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) é um sistema de comunicações móvel de terceira geração. É um sistema sem fio onde comunicação de voz, dados e multimídia convergem através de uma arquitetura baseada em camadas.

A convergência pode ser analisada sob três perspectivas: convergência de serviços de usuário, convergência de equipamento e convergência de rede.

Convergência de Serviços de Usuário: representa a existência de serviços semelhantes na concepção, desenvolvidos com o objetivo de serem disponibilizados ao mesmo usuário por meio de diferentes redes de acesso e diferentes equipamentos. São categorias de serviços convergentes C2C (customer to customer), B2C (business to customer) e C2B (customer to business)

Convergência de Equipamento: representa a diversidade de modos de acesso suportados por uma única estação de usuário. Permite o uso de múltiplas aplicações, através da reutilização das mesmas funções de identificação e autenticação. Além disso, a cada dia a estação móvel recebe implementações adicionais ao serviço de telefonia, por exemplo: câmera, TV/vídeo e e-mail.

Convergência de Rede: representa a consolidação das redes de trabalho com o objetivo de prover serviços diversificados ao usuário, considerando a implementação de graduação da qualidade de serviço aos variados modos de acesso existentes, enfatizando a melhor relação custo-benefício da operadora de telefonia. Para idealização do modelo de convergência, foi desenvolvida uma rede sobre arquitetura estratificada ou em camadas.

7.1 ARQUITETURA EM CAMADAS

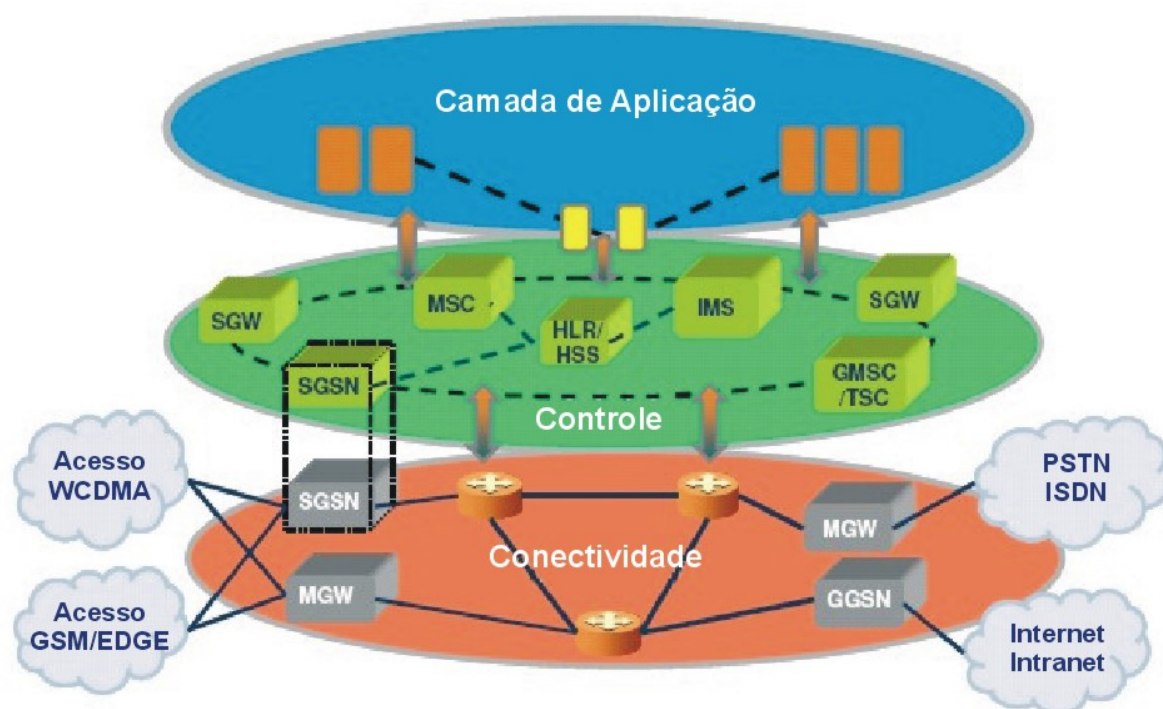


Figura 7.1 – Componentes da Arquitetura em Camadas

A arquitetura das redes de telecomunicações, sejam as sem fio (móveis) ou as cabeadas (fixas), sofreram mudanças expressivas. Atualmente, as redes são divididas em diversas camadas horizontais relativamente independentes umas das outras, retratando uma arquitetura flexível e compatível com os avanços tecnológicos do futuro (*future-proof*). O objetivo do conceito de redes estratificadas é possuir camadas de conectividade, controle e aplicação com funções claramente definidas, conforme a Figura 7.1.

Camada de Aplicação: responsável pela entrega de serviços e conteúdo aos usuários através das aplicações desenvolvidas, independente do equipamento ou método pelo qual o cliente acessa a rede.

Camada de Controle: responsável pelas funções de sessão e controle de chamada. Contém os nós de controle e direcionamento do tráfego de voz e dados.

Camada de Conectividade: consiste na concentração dos nós de transporte, responsáveis pela conexão física das várias redes de acesso.

A Rede de Acesso é formada por estações rádio base e controladores relacionados às redes móveis (GSM, UMTS, CDMA ou por acessos fixos), transporte e rede de conectividade, que são capazes de gerir diferentes tipos de tráfego, sejam informações de Comutação de Circuitos (CS – *Circuit Switched*) ou Comutação de Pacotes (PS – *Packet Switched*). Para o WCDMA, a Rede de Acesso é realizada através da Rede de Acesso WCDMA.

7.2 INTEGRAÇÃO DE SERVIÇOS

A Figura 7.1 ilustra ainda a forma como a malha WCDMA pode ser considerada uma “rede” de redes multi-serviços, capaz de fornecer os tradicionais serviços de telecomunicações e, sobre a mesma plataforma, os novos serviços baseados na Internet, com suporte a altas taxas de transferência de informações. O WCDMA também absorve o crescente número de interconexões entre as várias redes, comutação de circuitos e comutação de pacotes, banda estreita e banda larga, voz e dados, fixa e móvel.

O suporte WCDMA para altas taxas de transferência de dados agrega largura de banda superior ao usuário, quando comparado aos sistemas móveis 2G e 2,5G. O aumento da largura de banda permite acesso Internet/Intranet em alta velocidade e suporte a aplicações avançadas de multimídia.

8 TECNOLOGIA 3G

8.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Na visão da terceira geração de sistemas celulares, existem dois caminhos distintos para a evolução das atuais redes: uma em direção ao UMTS e outra em direção ao CDMA2000. O primeiro caminho é a evolução natural do GSM e uma opção viável para o padrão TDMA. O segundo caminho é a evolução natural do padrão *CDMAOne* (IS-95) e uma possível opção para sistemas TDMA. Ainda que redes TDMA possam ser migradas para CDMA2000, dependendo dos interesses e do contexto de suas operadoras em determinados mercados, a opção pelo caminho rumo ao UMTS oferece mais vantagens em virtude da presença maciça de operadoras GSM no mundo, possibilitando contratos de *roaming* global para quaisquer novas participantes.

8.2 UMTS

Como último degrau na evolução do GSM em direção à terceira geração, o UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) é um padrão que preenche diversas lacunas no desempenho de GERAN² através da implementação de uma outra arquitetura de rede baseada em uma nova técnica de acesso: o WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*).

Com a utilização do WCDMA, a rede UMTS pode atingir taxas máximas de 2Mbps além de permitir futuras expansões que aumentam as taxas de dados em *downlink*³, como o HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*).

Contudo, o maior trunfo do UMTS é certamente a capacidade de integração multi-rádio, que permite submeter ambas as redes GERAN (EDGE) e UTRAN⁴

² GERAN – abreviatura de GSM/EDGE *Radio Access Network*, ou seja, refere-se à rede de acesso de rádio do sistema GSM/EDGE.

³ *downlink* – designação da transmissão estabelecida no sentido da estação base para a estação móvel. O sentido contrário é chamado de *uplink*.

(WCDMA) sob o controle de um mesmo *core network*, possibilitando cobertura transparente para usuários com terminais multi-modo⁵. Esta vantagem resulta em garantias mais sólidas de prover QoS com base no acréscimo (indireto) de *throughput*⁶ que se obtém com a operação comum e equilibrada destas redes.

8.3 CENÁRIO

GSM é o padrão de comunicações celulares de segunda geração mais utilizado no mundo. De todos os sistemas móveis digitais desenvolvidos até hoje, ele é o único presente em todas as regiões do globo, tendo sido originalmente desenvolvido e implantado na Europa e posteriormente adotado por algumas operadoras nas Américas, Ásia, Oceania e África. É em virtude desta ampla presença que o sistema possui um importante diferencial em relação às demais tecnologias: a possibilidade de cobertura celular sob um mesmo padrão em nível mundial (*roaming*).

Tal vantagem conta com o reforço de um importante atributo na concepção do sistema: a compatibilidade. O sistema GSM não identifica seus assinantes através de seus terminais móveis, mas por meio de um pequeno cartão denominado SIM (*Subscriber Identification Module*), inserido dentro dos aparelhos de seus proprietários. É o SIM que contém as informações relativas ao assinante GSM, podendo ser destacado e inserido em outros aparelhos conforme ele transita por outras regiões do mundo cuja operação em rádio-frequência seja distinta de sua região original.

8.4 MODELO DE REFERÊNCIA 3GPP

A tecnologia WCDMA aplicada às redes 3G foi padronizada pelo 3GPP (*Third Generation Partnership Project*)

⁴ UTRAN – abreviatura de UMTS *Terrestrial Radio Access Network*. UTRAN traduz a rede de acesso de rádio do sistema UMTS.

⁵ multi-modo – designação dada às estações móveis capazes de operar em duas ou mais redes distintas. Por exemplo, terminais que funcionam na rede GSM/EDGE e na rede WCDMA.

⁶ throughput – taxa (efetiva) de transferência de bits.

Baseado no modelo de referência de rede elaborado pelo 3GPP, a rede WCDMA consiste de quatro componentes principais:

- *UE – User Equipment* (Equipamento do usuário)
- *AN – Access Network* (Rede de Acesso).
- *CN – Core Network* (Núcleo da Rede).
- Redes Externas ao WCDMA.

O modelo de referência 3GPP definido para a rede WCDMA é mostrado na Figura 8.1

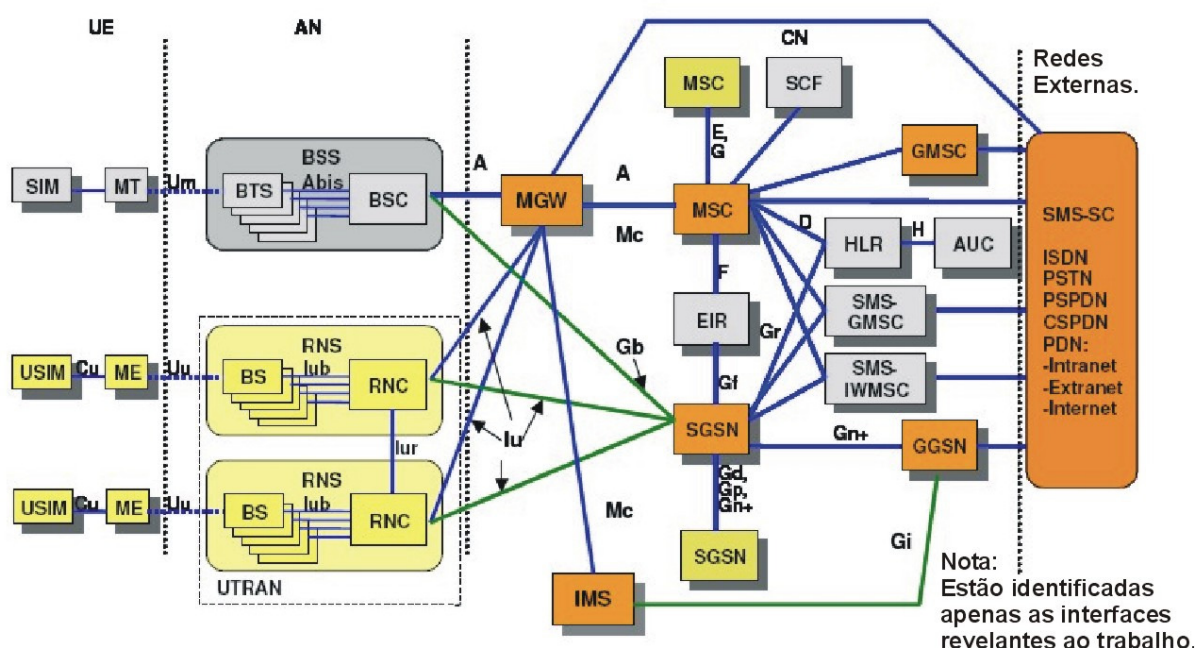


Figura 8.1 – Modelo de Referência 3GPP

8.5 WCDMA

WCDMA é uma técnica de múltiplo acesso baseado no DS-CDMA (*Direct Sequence – CDMA*), onde bits de informação do usuário são espalhados sobre um espectro muito mais largo do que a banda do sinal de informação. O espalhamento espectral se dá por meio de uma multiplicação da sequência de dados do usuário por um código pseudo-aleatório cuja taxa de *chip* (unidade com duração menor que um bit de dados) é de 3,84 Mc/s sobre um espectro de 5 MHz. São estes códigos espalhadores que diferenciam um usuário do outro, dado que em um sistema CDMA

todos os usuários operam simultaneamente numa mesma frequência de portadora. Para extrair um determinado usuário do espectro compartilhado, uma multiplicação deste mesmo espectro pela sequência espalhadora recupera o aspecto do sinal original (banda estreita) enquanto que a operação do resto dos usuários, comparativamente, se assemelha a ação de um ruído branco, podendo ser facilmente filtrado. O nome *Wideband CDMA* foi designado a este sistema no intuito de diferenciá-lo do padrão 2G já existente, denominado IS-95 (*CdmaOne*), também baseado em espalhamento espectral, porém atuando com uma taxa de chip de 1,288 Mcps.

A vasta largura de banda do WCDMA permite alcançar altas taxas de dados de usuário além de conferir alguns benefícios ao sistema, como uma maior diversidade de multipercurso. Para uma operadora, o espaçamento real de portadora a ser usado pode variar em unidades de 200 kHz numa faixa que vai aproximadamente de 4,4 MHz até 5 MHz, dependendo do arranjo do espectro e das características de interferência do ambiente de rádio.

É possível também suportar grandes variações de taxas de dados com a utilização do conceito de largura de banda sob demanda (BoD – *Bandwidth on Demand*), através de um gerenciamento de recursos de rádio (RRM – *Radio Resource Management*) pela rede, permitindo uma rápida alocação de recursos de capacidade de rádio. Um quadro com duração de 10 ms é reservado a cada usuário para manter sua taxa de dados constante, porém, esta taxa de dados pode variar de quadro para quadro e de usuário para usuário. Este recurso permite que ótimos *throughputs* sejam alcançados para serviços comutados a pacotes, ao mesmo tempo em que uma qualidade suficiente é mantida para os serviços comutados a circuitos.

A Figura 8.2 ilustra os dois modos de operação possíveis para o WCDMA: duplexação por divisão da frequência (FDD) e duplexação por divisão do tempo (TDD). No modo FDD dois espectros distintos de 5 MHz cada são separados por um espaçamento duplex, sendo cada uma destas bandas reservada para *downlink* e *uplink*. No modo TDD uma mesma portadora de 5 MHz é usada para *downlink* e *uplink* segundo um compartilhamento no tempo. O modo TDD foi introduzido no conceito WCDMA com o objetivo de impulsionar a adoção do WCDMA em um nível mais genérico, no sentido de contornar as situações de espectro limitado dentro das faixas definidas pelo ITU para o IMT-2000. Mesmo assim, a utilização do modo TDD não está prevista dentro das primeiras fases de implantação de redes WCDMA.

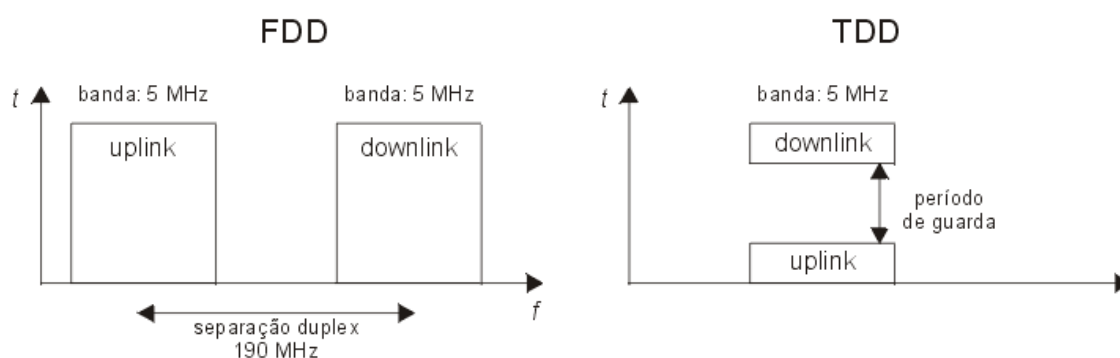


Figura 8.2 - Operação WCDMA em modos FDD e TDD

Como ponto alto desta tecnologia, a standardização do WCDMA prevê integração com sistemas GSM, garantindo o suporte de *handovers*⁷ entre sistemas WCDMA e GSM por um mesmo terminal móvel multi-modo. Tal integração implica na vantagem de que, sendo os terminais multi-modo capazes de aferir medições em uma rede enquanto conectadas na de outro sistema, redes utilizando ambos os sistemas GSM e WCDMA podem compartilhar seus recursos equilibrando a carga operacional entre os dois sistemas de acordo com certos critérios de desempenho

⁷ *handover* - termo utilizado na telefonia móvel para designar que o assinante com uma chamada em curso fez a transição de uma célula para outra, mantendo ininterrupta a conversação.

em diferentes condições de rádio. Assim, uma dada aplicação rodando em um terminal móvel pode “trocar” de rede de acordo com a disponibilidade maior de recursos ou pela ausência de cobertura de um dos sistemas em uma determinada localidade. Com exceção do mercado japonês, cuja migração do sistema PDC para o WCDMA não passou por uma fase intermediária GSM, todos os terminais multimodo estarão aptos a operar tanto em ambiente WCDMA quanto em GSM segundo o padrão UMTS [5]. A Tabela 8.1 enumera as principais características técnicas do sistema WCDMA.

Tabela 8.1 - Principais parâmetros do WCDMA

WCDMA	
Método de múltiplo acesso	DS-CDMA
Método de duplexação	FDD / TDD
Sincronização da estação base	Operação assíncrona
Espaçamento da portadora	5 MHz
Taxa de chips	3,84 Mc/s
Tamanho do quadro	10 ms
Controle de potência	$\pm 1\text{dB}$ @ 1500 Hz (<i>downlink</i> e <i>uplink</i>)
Multiplexação de serviços	Múltiplos serviços com diferentes requisitos de QoS multiplexados em uma conexão
Conceito de multi-taxa	Fator de espalhamento variável e multi-código
Deteção	Coerente usando símbolos-piloto ou piloto comum
Deteção multi-usuário, antenas adaptativas (<i>smart antennas</i>)	Suportado pelo padrão, opcional na implementação

8.6 COMPONENTES DA REDE WCDMA

A presente sessão está fundamentada na Figura 8.3 e descreve os componentes da rede WCDMA.

8.6.1 Rede WCDMA de Acesso por Rádio

1. Estação Rádio Base (RBS – *Radio Base Station*)

Chamada de *Node-B* no modelo de referência 3GPP, a estação rádio base é responsável pelos recursos físicos de rádio e converte o fluxo de informações entre as interfaces *Iub* e *Uu*.

2. Controladora de Rede de Rádio (RNC – *Radio Network Controller*)

A RNC controla a Node-B e os recursos de rádio. A RNC é o ponto de acesso a todos os serviços de WCDMA RAN e o elemento de interface com o *Core Network*.

8.6.2 Core Network WCDMA/GSM

A arquitetura do *Core WCDMA* é baseada na mesma topologia desenvolvida para a rede GSM, consistindo dos seguintes nós:

1. *MSC Server (Softswitch)*

A *MSC Server* opera com as funções relacionadas ao modo de comutação de circuito (CS) da Camada de Controle quando tais serviços são providos em um ambiente de Arquitetura em Camadas (ou Estratificada); como por exemplo, serviços de gerência de mobilidade e gerência de conectividade. A *MSC Server* trabalha em conjunto com a *M-MGW (Mobile Media Gateway)*.

2. *MSC/VLR*

A *MSC/VLR* opera com as funções relacionadas ao modo de comutação de circuito (CS) dentro de uma arquitetura de rede não estratificada (monolítica). Serviços de gerência de mobilidade e gerência de conectividade são de responsabilidade da *MSC/VLR*.

3. *Gateway MSC Server (GMSC Server)*

Sua principal função é o roteamento de chamadas para os assinantes móveis, mediante consulta dos respectivos HLRs.

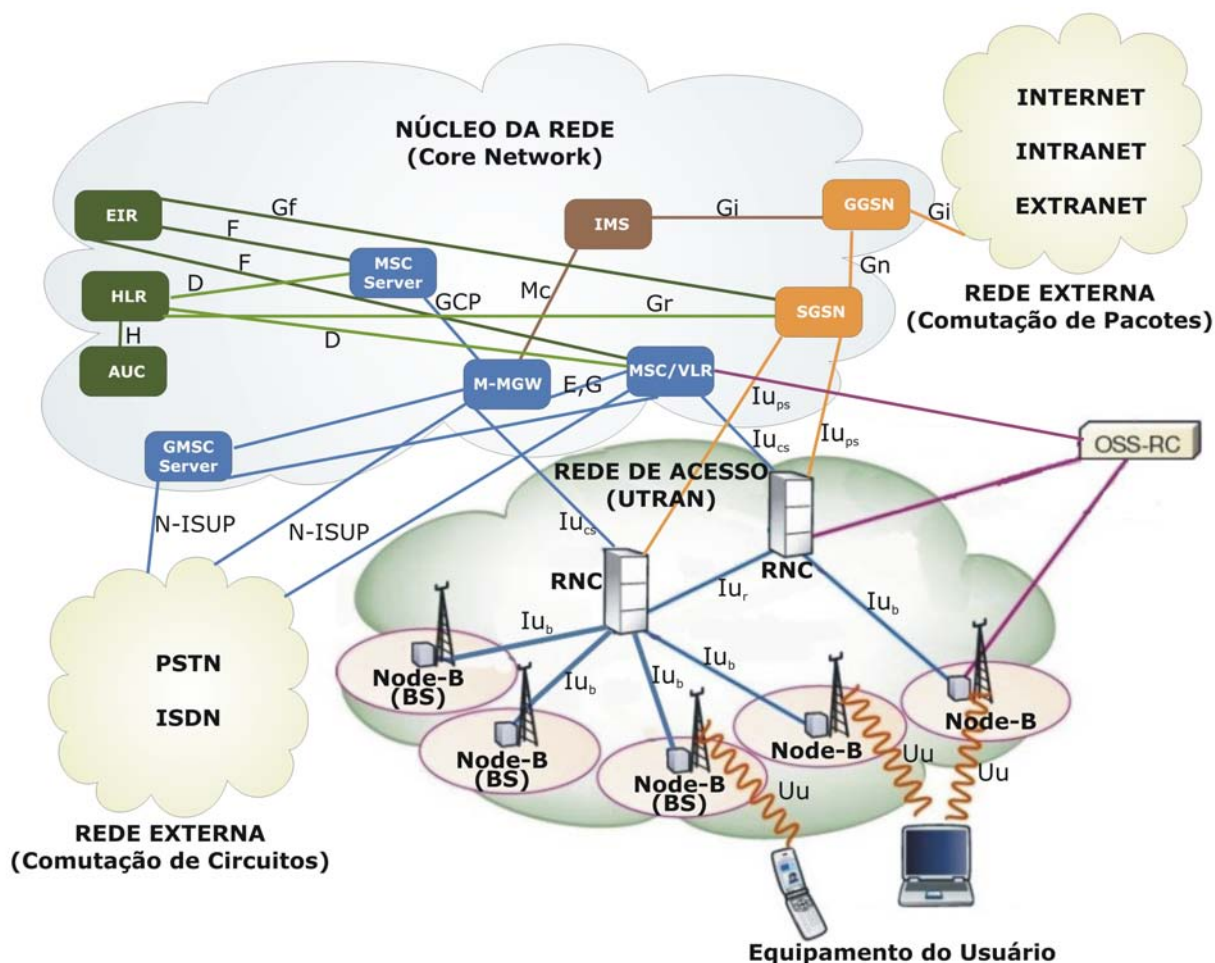


Figura 8.3 - Topologia WCDMA

4. Mobile Media Gateway (M-MGW)

O M-MGW tem a função de conectar as Redes Móveis de Acesso (GERAN e UTRAN) às Redes Externas (PSTN, ISDN, etc.). O M-MGW trabalha em conjunto com a MSC Server (Softswitch).

5. Serving GPRS Support Node (SGSN)

O SGSN atua nas comunicações de dados (PS) fornecendo gerência de mobilidade e sessão. *Paging* (sinal de localização de assinante), *attach* (registro do assinante), *detach* (desconexão do assinante), operações de contexto *PDP* (*Packet Data Protocol*)⁸, atualização de área de

⁸ contexto PDP – estabelecimento de comunicação entre SGSN e GGSN sob o Protocolo de Pacote de Dados (PDP).

roteamento intra e inter SGSN são algumas das funções desempenhadas pelo SGSN.

6. *Gateway GPRS Support Node* (GGSN)

O GGSN tem a função de interface entre o *core* da rede de dados móvel e as demais redes de pacotes de dados, como Internet, intranet corporativa e redes de dados privadas.

7. *Home Location Register* (HLR)

Consiste na base primária de dados de informações de assinantes e proporciona controle e inteligência no âmbito das redes móveis.

O HLR controla os perfis dos assinantes móveis, sua localização e o status de atividade desses usuários.

8. Authentication Center (AUC)

Servidor que contém as funções de armazenamento seguro da identificação individual dos assinantes e das chaves de segurança. O AUC também opera os algoritmos necessários à geração das chaves de autenticação e cifragem distribuídas aos assinantes. As chaves geradas pelo AUC serão utilizadas por diferentes elementos da rede visando proteger a rede, usuários e operadora contra o uso não autorizado dos recursos do sistema.

9. *Equipment Identity Register* (EIR)

Banco de dados cuja função é validação da identidade do equipamento móvel do assinante. A MSC pode solicitar ao EIR que confirme se o equipamento do usuário foi roubado/está indisponível para uso (*black list* ou lista negra), se possui o status de tipo não aprovado (lista cinza),

se está registrado normalmente (lista branca), ou se o status é desconhecido.

10. IP *Multimedia Subsystem* (IMS)

O IMS é o novo padrão para serviços de multimídia IP e aplicações de “próxima geração”, como vídeo conferência e jogos *multiplayers*. A plataforma também especifica os padrões de interoperabilidade e roaming, controle de *bearer*⁹, tarifação e segurança para os serviços multimídia. O acesso ao IMS é realizado tanto por serviços baseados em CS (*circuit switched*) quanto PS (*packet switched*).

8.6.3 Estação Móvel e Cartão SIM

A MS (*Mobile Station*), ou estação móvel, representa o equipamento terminal de comunicação de voz e dados do usuário. Existem dois tipos de identidades que são associadas à estação móvel. A primeira delas é o IMEI (*International Mobile Equipment Identity*) que identifica um número de série único do aparelho para autenticação da rede com base no EIR. A segunda é o IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*) que identifica o assinante proprietário do aparelho. O IMEI fica registrado no próprio aparelho enquanto o IMSI é armazenado no cartão SIM (*Subscriber Identity Module*) destacável, que fica inserido na estação móvel. O aparelho faz uso deste SIM para validar as informações referentes à identidade do assinante no sistema e registrar outras informações úteis como agenda pessoal de telefones, configurável pelo próprio usuário. Sem este SIM, o terminal móvel é incapaz de utilizar quaisquer serviços oferecidos pela rede, excetuando-se chamadas de emergência (dependendo da legislação de cada país).

⁹ bearer – no contexto da dissertação, é um termo que expressa os serviços de entrega de informações dentro de um sistema de telecomunicações.

Uma importante funcionalidade do cartão SIM é a possibilidade de utilização de códigos de segurança contra uso indevido e roubos. O SIM possui dois tipos de código de segurança que podem ser usados pelo usuário: o PIN (*Personal Identity Number*) e o PUK (*Personal Unblocking Key*). O PIN é um código numérico configurável pelo usuário, sem o qual o aparelho não pode ser usado, caso esta funcionalidade esteja ativada. Assim, se o PIN for digitado incorretamente em até três vezes consecutivas, o SIM fica temporariamente bloqueado e só poderá ser destravado introduzindo-se o PUK. Consequentemente, caso o PUK seja também digitado incorretamente em até dez vezes consecutivas, o SIM torna-se inutilizável, sendo necessária sua substituição.

9 A REDE DE RÁDIOS

O objetivo deste capítulo é prover uma visão geral a respeito da Rede de Acesso de Rádio de 3ª Geração e padronização WCDMA.

9.1 ESPECTRO DE FREQUÊNCIA

Os intervalos de frequência escolhidos pelo ETSI para utilização nos sistemas WCDMA são:

- 1920 – 1980 MHz para Uplink
- 2110 – 2170 MHz para Downlink

9.2 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DO WCDMA

Para atender aos requisitos de suporte flexível e eficiente aos serviços WCDMA, a rede de acesso por rádio deve apresentar certo número de características básicas, que são listadas a seguir:

- Suporte à transmissão em alta taxa de dados: mínimo de 384 kbps em grandes áreas descobertas; capacidade mínima de 2Mbps em locais de cobertura confinada. Característica que precisa estar adequada em uma largura de banda total de 5MHZ.
- Alta flexibilidade de controle e gerência de serviços, isto é, compatível com múltiplas mídias e aplicações (*beares*) e taxas variáveis de dados em cada conexão.
- Controle de potência eficiente. Propriedade capaz de reduzir significativamente a interferência na rede (aumento de capacidade) e simultaneamente otimiza a potência despendida para transmitir (eleva o tempo útil de utilização da bateria do equipamento móvel).
- Acesso rápido e eficiente à rede de pacotes.

- Suporte às constantes evoluções de capacidade/cobertura demandada pela tecnologia. O sistema possui robustez para funcionamento com antenas adaptativas, estruturas avançadas de receptores e diversos tipos de transmissores.
- Compatibilidade com *handover* inter-frequência (para funcionamento com estrutura de hierarquia de células, por exemplo) e com *handover* para outros sistemas, incluindo o GSM.
- Transmissão full-duplex. Modo de transmissão que implica na transmissão e recepção simultâneas de informações é utilizado nos sistemas de telefonia móvel. Por isso apenas atrasos insignificantes (imperceptíveis ao usuário) são aceitos na rede

9.3 RESUMO DAS TECNOLOGIAS DE ACESSOS MÚLTIPLOS

Em sistemas de comunicações móveis modernos são imprescindíveis a coordenação de acessos múltiplos e simultâneos às bandas de frequência e tecnologias de acesso de rádio existentes.

- FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) – os usuários são separados por frequência.
- TDMA (*Time Division Multiple Access*) – os usuários são separados pelo tempo.
- CDMA (*Code Division Multiple Access*) – os usuários são separados por códigos.

9.3.1 Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência (FDMA)

A Figura 9.1 ilustra o método comumente utilizado nos sistemas móveis de primeira geração, chamados então de analógicos. O espectro disponível no FDMA é dividido em canais físicos de mesma largura de banda, onde cada qual é alocado para um assinante. O canal físico designado ao usuário é utilizado durante todo o tempo

da chamada, portanto indisponível para outros assinantes durante esse período. O canal é liberado ao término da conversa, quando então é permitida sua utilização pelo próximo assinante.

Em resumo, em FDMA, um canal de banda estreita é ocupado durante transmissão e recepção contínuas, há ortogonalidade¹⁰ de frequência dentro da célula e não é necessária qualquer sincronização no domínio do tempo.



Figura 9.1 – Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência

9.3.2 Acesso Múltiplo por Divisão do Tempo (TDMA)

Técnica em que a frequência é dividida em unidades de tempo, chamadas *time slots* (TS). Para cada assinante requisitando recursos do sistema é alocado um *time slot*, que transmite e recebe seus dados. O TDMA é usado em vários sistemas de segunda geração como GSM e D-AMPS.

Após fornecido um TS para o assinante, somente aquele poderá ser utilizado durante o tempo designado e o assinante tem acesso cíclico ao recurso. Conforme mostrado na Figura 9.2, a informação do usuário é dividida e transmitida bit a bit via *time slot* associado. Um TS típico é da ordem de centena de microssegundos, por isso TDMA necessita de sincronismo acurado na transmissão de *burst*¹¹ para que

¹⁰ ortogonalidade – derivado de (frequências) ortogonais. Diz-se de duas frequências que, seja por separação espectral, seja por tratamento através de modelo matemático, não causam interferência recíproca.

¹¹ burst – parte da informação ou toda ela transmitida em forma rajadas de bits.

não haja sobreposição de *time slots* adjacentes. O atraso causado pela transmissão de bursts é um grande obstáculo em sistemas que apresentam células muito extensas; é necessário sincronismo muito preciso entre o equipamento do usuário e a estação rádio base. Informação de “*Timing Advance*¹²” e “*Guard Periods*¹³” entre TS adjacentes evitam interferência e sobreposição das informações.

Ortogonal no tempo
Largura de banda por portadora aumentada
Transmissão e recepção descontínuas
Sincronismo no tempo

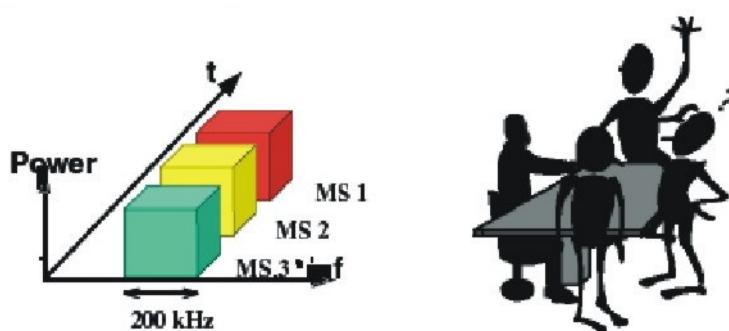


Figura 9.2 – Acesso Múltiplo por Divisão do Tempo

TDMA conta com sincronização, aumento de largura de banda e pico de potência, transmissão e recepção descontínuas e ortogonalidade no domínio do tempo.

9.3.3 Acesso Múltiplo por Divisão de Código (CDMA)

CDMA é uma técnica digital de compartilhamento do espectro de frequências. Sua tecnologia de espalhamento¹⁴ espectral emprega códigos para separar os usuários na mesma frequência. A primeira e mais amplamente difundida

¹² Timing Advance – uma das várias grandezas criadas para a telefonia móvel buscando-se prover robustez e confiabilidade ao sistema. TA corresponde ao tempo que o sinal leva para percorrer desde o equipamento móvel até a estação base. Uma vez que há grande variação entre a distância dos vários usuários e a estação base, é através desse contador que o sistema consegue obter o sincronismo preciso, enviando comandos periódicos para que determinados equipamentos de usuários transmitam bit de enchimento dentro de sua informação.

¹³ Guard Periods ou guard intervals – são intervalos utilizados nos sistemas de telecomunicações, cuja função é certificar de que transmissões de informações distintas não causem mútua interferência.

¹⁴ espalhamento (*spreading*) – significa que a informação digital é multiplicada por códigos.

implementação comercial desse modo de acesso foi o sistema *cdmaOne* baseado no padrão IS-95.

No CDMA todos os assinantes dentro de uma célula dividem a mesma frequência durante o período de utilização do serviço. Por isso, é necessário distinguir cada uma das chamadas e sessões existentes na célula. Utiliza-se o *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS) – Espalhamento Espectral por Sequência Direta – para realização do espalhamento espectral, e o *Direct Sequence CDMA* (DS-CDMA) – CDMA por Sequência Direta – onde a informação de cada usuário é espalhada através da banda espectral usando um único código.

A utilização desse modelo possibilita que as operadoras solucionem o problema de demanda de capacidade em suas redes, uma vez que a técnica de espalhamento espectral codifica e “espalha” todas as conversações ao longo de um espectro de banda larga (1,25 MHz). Este esquema permite que um grande número de usuários compartilhem a mesma portadora de 1,25 MHz.

9.3.4 DS-CDMA

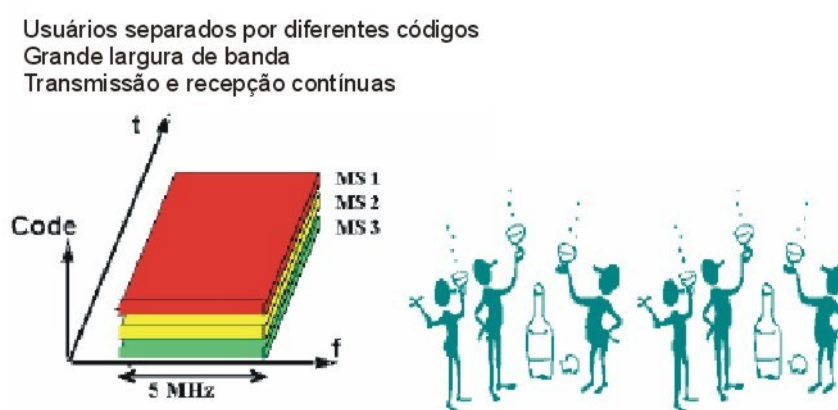


Figura 9.3 – Direct Sequence – Code Divison Multiple Access

No *Direct Sequence* – CDMA, a portadora é espalhada usando-se um código digital. Cada bit de informação é codificado com uma sequência de chips. A razão

entre a taxa de bits e a taxa de chips é conhecida como *Spreading Factor* (SF) ou fator de espalhamento.

O receptor deve conhecer a correta sequência do código a fim de extrair a informação exata contida no sinal transmitido dentro da banda de frequência de 1,25 MHz. A Figura 9.3 sintetiza as características relacionadas ao DS-CDMA.

9.3.5 *Wideband* CDMA (WCDMA)

É baseado no esquema DS-CDMA que, além dos serviços de alta taxa de dados, através da interface de rádio WCDMA oferece melhoras significativas sobre o padrão CDMA 2G.

Propostas do WCDMA:

- Melhora de cobertura e capacidade, graças à maior largura de banda (5 MHz).
- Compatibilidade com *handover* inter-frequência
- Robustez para funcionamento com antenas adaptativas e detecção de multi-usuários.
- Protocolo de acesso a pacotes de dados mais rápidos e eficientes.

Características do WCDMA:

- Portadoras de 5 MHz de banda.
- *Frequency Division Duplex* (FDD).
- Taxa de chip a 3,84 Mcps¹⁵.
- Código de espalhamento variáveis.

9.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO ESPALHAMENTO ESPECTRAL

Existem vantagens e desvantagens no uso da tecnologia de espalhamento espectral no WCDMA [4].

¹⁵ Mcps (mega ciclos por segundo) – unidade de medida da taxa de chips.

Seguem abaixo alguns dos vários motivos que favorecem seu uso:

- Transmissões em banda larga são menos suscetíveis ao *fading*¹⁶ e interferência seletiva de frequência.
- A densidade de potência do espectro é significativamente reduzida e a transferência de informação é possível, mesmo com o sinal abaixo do nível de ruído de fundo.
- Apresenta boa eficiência espectral devido à possibilidade do reuso das frequências de cada portadora em cada uma das demais células existentes.
- Não existe limite fixo da quantidade de usuários simultâneos por célula. O principal comprometimento reside no aumento do nível de interferência dos demais usuários, o que reduz a qualidade do serviço prestado.

Algumas desvantagens associadas ao WCDMA são:

- Para taxas de transferência iguais, o sinal transmitido pelas estações móveis de usuário deve ter o mesmo nível de potência na recepção da estação base. Portanto, é necessário utilizar o controle rápido de potência (assunto abordado no item 9.10.1).
- Quando em situação de *soft handover* (item 9.10.2), as estações móveis de usuário requisitam comunicação simultânea com mais de uma célula.

9.5 PRINCÍPIOS DO ESPALHAMENTO (SPREADING)

Antes de iniciar o estudo, alguns conceitos e premissas:

- Um bit de informação é dado por “0” e “1”, quando utilizado código binário ou por “+1” e “-1”, quando o código é bipolar.

¹⁶ *fading* ou desvanecimento – é o fenômeno caracterizado pela atenuação aleatória de sinais de rádio frequência.

- Os bits de informação do usuário são espalhados segundo uma quantidade de *chips* quando “multiplicados” pelo código de espalhamento. A taxa de *chips* no sistema WDCMA é um valor constante de 3,84 Mchips/s e o sinal resultante é espalhado numa largura de banda de aproximadamente 5 MHz.
- O Fator de Espalhamento (*Spreading Factor* – SF) é a relação entre a taxa de *chips* e a taxa de bits de informação do assinante. Esse valor representa o ganho de espalhamento, ou seja, a medida de quão imune a interferências é o sinal modulado.

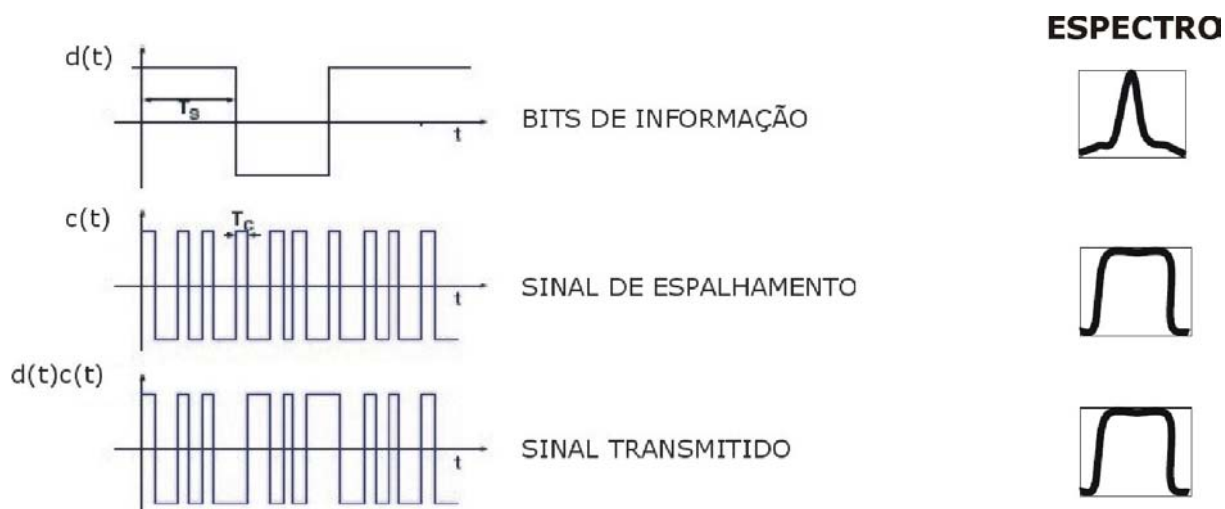


Figura 9.4 – Composição do Espalhamento Espectral

A Figura 9.4 sintetiza os conceitos quanto à modulação por espalhamento espectral.

Quando a informação de vários usuários é emitida através do espaço como sinal de rádio frequência (RF), ela pode ser transmitida em diferentes taxas, dependendo do tipo de serviço usado pelo assinante naquele momento (voz, vídeo conferência, internet, etc). A Figura 9.5 ilustra diferentes taxas de bits e Fatores de Espelhamento modulados sob uma taxa constate de *chips*.

Para o envio de feixe de bits, um certo nível de potência é necessário. A potência de transmissão de um sinal é proporcional à velocidade de transferência da informação contida nele. Se a velocidade de transferência é alta, a potência de transmissão torna-se alta e vice-versa. Uma vez que a taxa de *chips* é constante, o fator de espalhamento é baixo quando a taxa de bits é alta. Uma das características mais importantes do WCDMA é que a potência é o recurso físico compartilhado no sentido de *downlink*.

Taxa de Bits do Usuário (Uplink)	SF	Taxa de Chips (Mchips/s)	Taxa de Bits do Usuário (Downlink)	SF	Taxa de Chips (Mchips/s)
15	256	3,84	15	512	3,84
30	128	3,84	30	256	3,84
60	64	3,84	60	128	3,84
120	32	3,84	120	64	3,84
240	16	3,84	240	32	3,84
480	8	3,84	480	16	3,84
960	4	3,84	960	8	3,84
			1920	4	3,84

Figura 9.5 – Taxa de bits do assinante e Fator de Espalhamento

O WCDMA é bastante flexível na administração de serviços convergentes que demandam taxas de informações variáveis. A gerência dos recursos de rádio foi implementada de maneira a alocar potência destinada à chamada de cada usuário e garantir que o nível máximo de interferência não seja excedido. A tecnologia conta ainda com a capacidade de trafegar serviços de comutação de pacotes e de comutação de circuitos com larguras de banda variáveis ao mesmo tempo que disponibiliza níveis especificados de qualidade ao mesmo assinante. Cada terminal móvel WCDMA pode acessar simultaneamente múltiplos serviços, incluindo voz ou uma combinação de serviços de dados, como fax, e-mail e vídeo.

9.6 GRUPOS DE CÓDIGO DE ESPALHAMENTO

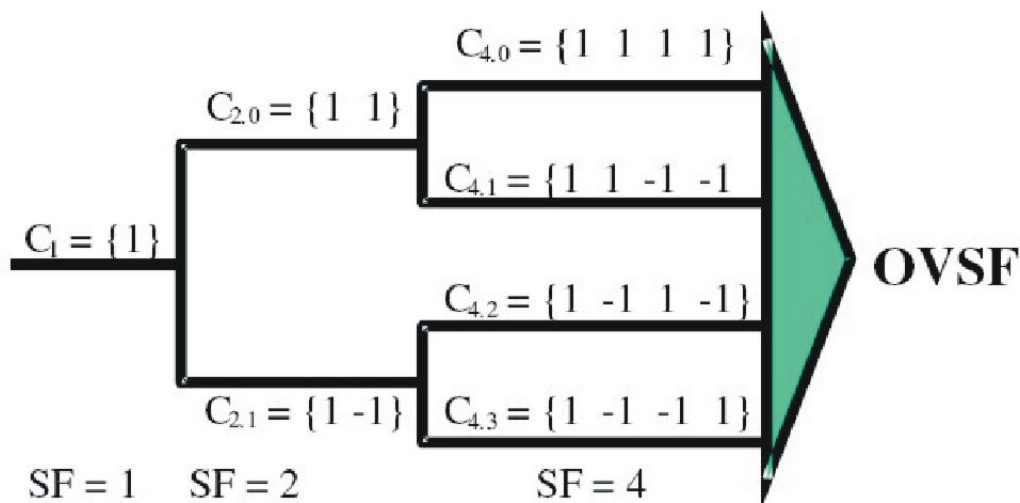
WCDMA utiliza diferentes tipos de códigos, os quais podem ser divididos em dois grupos principais:

- Códigos de Canalização (*Channelization Codes*)
- Códigos de Embaralhamento (*Scrambling Codes*)

A codificação da informação do assinante é obtida através da “multiplicação” da informação transmitida pelos códigos de Canalização e Embaralhamento.

9.6.1 Códigos de Canalização

Os códigos de canalização, geralmente chamados códigos de Fator de Espalhamento Ortogonal Variável (OVSF – *Orthogonal Variable Spreading Factor*) são aplicados para a separação de um canal, dentre os vários contidos no link de transmissão entre a estação base e estação móvel.



- Códigos de canalização de tamanhos diferentes dependem da taxa de bits.
- Ortogonalidade assegurada mesmo com diferentes taxas e fatores de espalhamento.

Figura 9.6 - Árvore de Códigos / Código OVFSF

Os códigos possuem propriedades ortogonais visando minimizar a interferência entre os diferentes usuários.

Os códigos OVFSF podem ser definidos através da árvore de códigos apresentada na Figura 9.6. A árvore é construída por meio da formação de dois novos códigos a partir do primeiro. Um novo ramo surge da adição do código do ramo pai com ele mesmo para formar o ramo filho superior e adição do ramo pai com o seu inverso para formar o ramo filho inferior. Considerando a primeira divisão na árvore da Figura 9.6, onde o código pai é (1), teremos, portanto, a formação dos novos ramos com códigos (1,1) e (1,-1) respectivamente.

Cada nível na árvore de códigos define um código de canalização de tamanho SF, que corresponde ao fator de espalhamento SF. Por exemplo, se o SF for 4, a velocidade de transferência em cada ramo será de 960 kbps, desde que mantida constante em 3,84 Mcps a velocidade de *chips*.

A Figura 9.7 mostra um código de espalhamento com SF de 4.

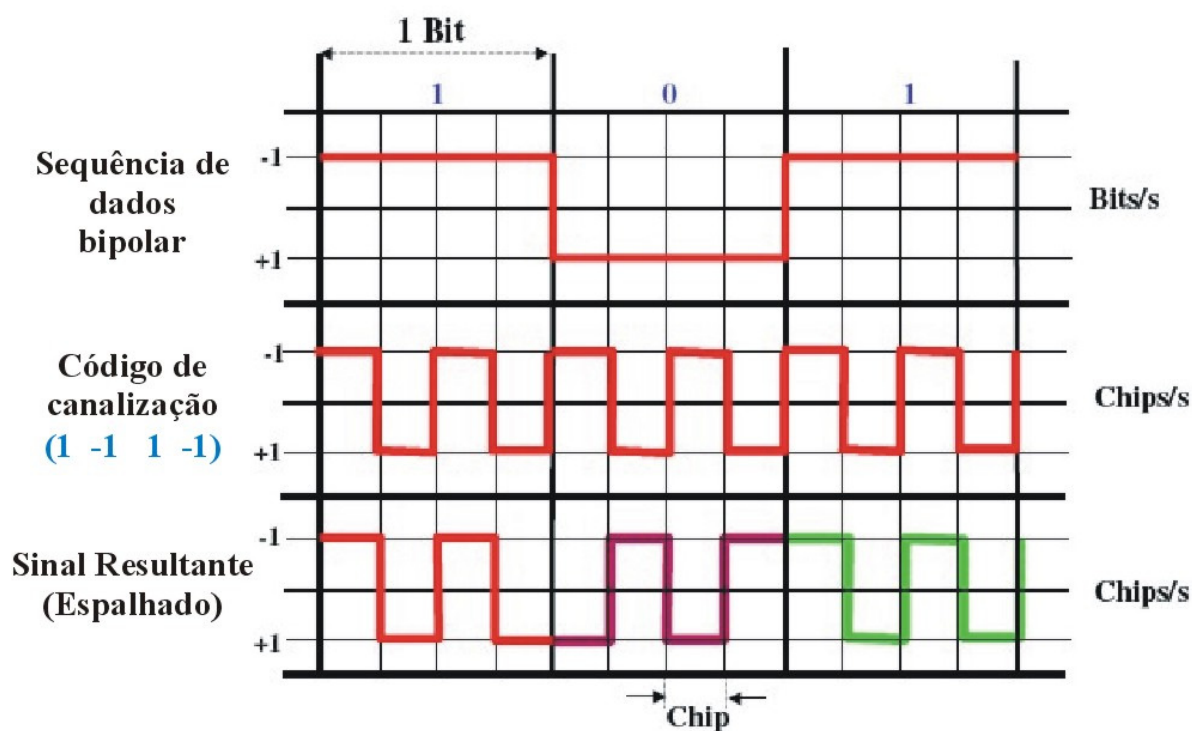


Figura 9.7 - Bits e Chips

9.6.2 Ortogonalidade e Correlação

Dois vetores ortogonais resultam em um vetor “0” quando são multiplicados um pelo outro. Isso quer dizer que a informação codificada somente sofre influência do código ortogonal correto quando a mesma é demodulada; por isso a interferência pode ser minimizada. Os códigos de canalização preservam a ortogonalidade entre os canais físicos dos usuários mesmo quando operam em diferentes velocidades. Dessa forma, por um único canal pode trafegar múltiplos serviços com taxas de bits variadas. Uma vez que esta situação requer alteração na velocidade de transferência, a potência alocada para o canal deve estar em um nível que garanta a qualidade de serviço para todos os instantes da comunicação.

A Figura 9.8 apresenta as propriedades dos códigos Ortogonais (Canalização).

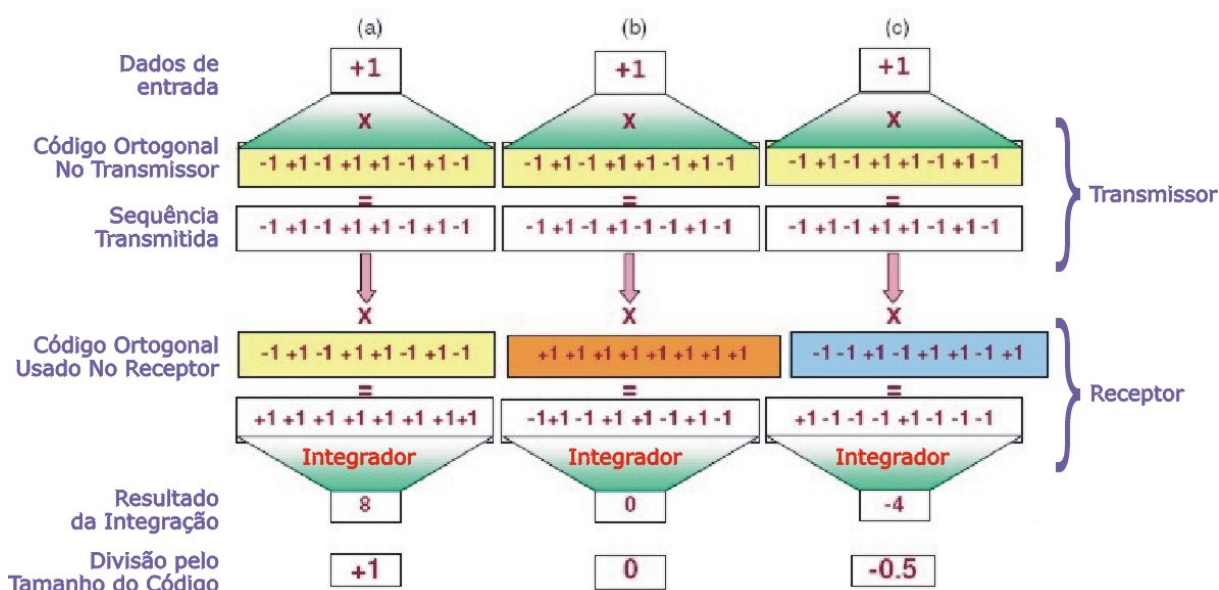


Figura 9.8 - Códigos de Canalização e Correlação de Códigos

No cenário (a), o mesmo código ortogonal é utilizado no transmissor e no receptor (autocorrelação), resultando na correlação máxima (100%). Por isso, a informação obtida na recepção é a mesma que foi enviada.

No cenário (b) são aplicados diferentes códigos de canalização na transmissão e na recepção (correlação cruzada). Devido às propriedades ortogonais dos códigos, a transferência resultou na mínima correlação (0).

No cenário (c), os dados transmitidos e recebidos foram modulados com o mesmo código ortogonal, porém deslocados no tempo. Aqui é demonstrado que os códigos ortogonais são sensíveis quanto ao sincronismo, o resultado torna-se imprevisível. Portanto, o uso dessa técnica exige perfeito sincronismo na aplicação dos códigos.

9.6.3 Códigos de Embaralhamento (*Scrambling*)

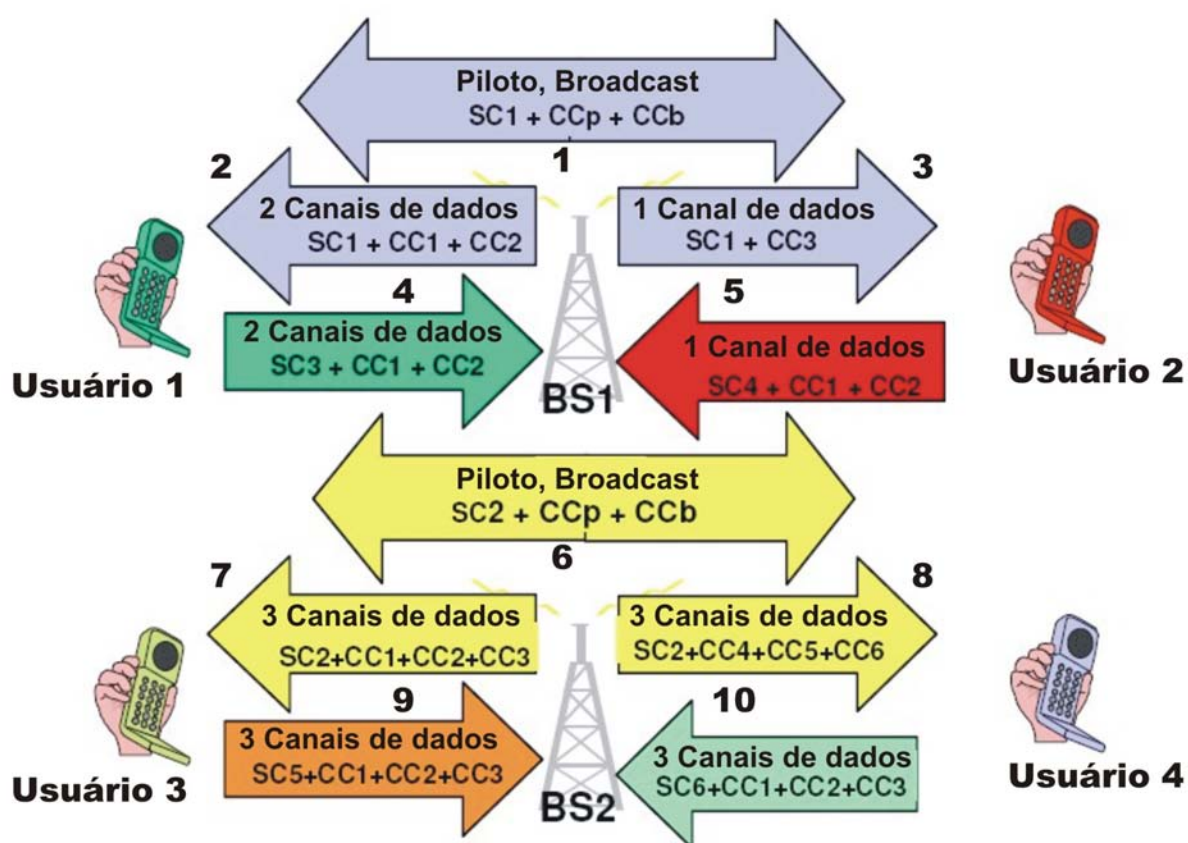


Figura 9.9 - Códigos de Canalização e de Embaralhamento

Após os códigos de canalização, o feixe de dados é multiplicado por um código pertencente a um grupo de códigos binários especiais visando sua distinção entre

diferentes fontes transmissoras; fornecendo, assim, uma identidade única ao par estação móvel/estação base.

Esse processo é conhecido por embaralhamento (*scrambling*) e os códigos envolvidos por códigos de embaralhamento ou ruído falso.

Tais códigos são construídos de forma que resultem numa baixa correlação quando modulados por eles próprios em todos os casos em que a sincronização entre eles é inconsistente. Quando correlacionados com ruídos falsos diferentes também ocorre uma saída de baixa correlação. A essa propriedade é dado o nome de boa correlação cruzada. Dessa maneira pode-se dizer que Códigos de Embaralhamento proporcionam segregação das várias fontes de transmissão. A única condição para se alcançar alta correlação quando da decodificação de um sinal é pela aplicação do código de embaralhamento correto, seguido de sincronização precisa.

A operacionalização dessa tecnologia de códigos requer uma estratégia na aplicação de cada código, levando portanto, ao desenvolvimento da engenharia de Planejamento de Códigos de Embaralhamento. Visto que todos os transmissores operam na mesma frequência, não há necessidade do planejamento de frequências.

Para cada feixe de informações transmitido existe um Código de Embaralhamento (SC) e tantos Códigos de Canalização (CC) quantos forem os canais físicos associados.

A Figura 9.9 ilustra o funcionamento dos códigos de canalização e de embaralhamento no envio e recebimento de informações na interface aérea da rede de rádios WCDMA.

Na comunicação da Estação Base 1 (BS1) com os usuários 1 e 2 estão representados:

1. Transmissão dos canais Piloto e *Broadcast*.

A portadora carrega SC1, CC_p e CC_b, respectivamente, o *Scrambling Code 1*, que define o *downlink* dedicado entre a BS1 e os usuários 1 e 2; o Código de Canalização do canal Piloto, responsável pela distinção do canal Piloto dentre os vários existentes no *link* e o Código de Canalização do canal *Broadcast*, responsável pela distinção do canal de *Broadcast* no mesmo *link*.

2. Transmissão de 2 canais de dados da BS1 ao usuário 1.

A portadora contém SC1 (*downlink* da BS1), CC1 (separação do canal de dados 1 para o usuário 1 dentro do *link*) e CC2 (separação do canal de dados 2 para o usuário 1 dentro do *link*).

3. Transmissão de 1 canal de dados da BS1 ao usuário 2.

A portadora contém SC1 (*downlink* da BS1) e CC3, que distingue o canal de dados do usuário 2 dentro do *link*.

4. Transmissão de 2 canais de dados do usuário 1 à BS1.

A portadora contém SC3, *Scrambling Code 3*, que define o *uplink* a partir do usuário 1, CC1 (separação do canal de dados 1 no *link*) e CC2 (separação do canal de dados 2 no *link*).

5. Transmissão de 1 canal de dados do usuário 2 à BS1.

A portadora contém SC4, *Scrambling Code 4*, que define o *uplink* a partir do usuário 2 e CC1 (separação do canal de dados 1 no *link*).

Na comunicação da Estação Base 2 (BS2) com os usuários 3 e 4 estão representados:

6. Transmissão dos canais Piloto e *Broadcast*.

A portadora carrega SC2 (*Scrambling Code 2*, que define o *downlink* dedicado entre a BS2 e os usuários 3 e 4), CC_p (Código de Canalização do canal Piloto) e CC_b (Código de Canalização do canal *Broadcast* do enlace).

7. Transmissão de 3 canais de dados da BS2 ao usuário 3.

A portadora contém SC2 (*downlink* da BS2), CC1 (separação do canal de dados 1 para o usuário 3 dentro do *link*), CC2 (separação do canal de dados 2 para o usuário 3 dentro do *link*) e CC3 (separação do canal de dados 3 para o usuário 3 dentro do *link*).

8. Transmissão de 3 canais de dados da BS2 ao usuário 4.

A portadora contém SC2 (*downlink* da BS2), CC4 (separação do canal de dados 1 para o usuário 4 dentro do *link*), CC5 (separação do canal de dados 2 para o usuário 4 dentro do *link*) e CC6 (separação do canal de dados 3 para o usuário 4 dentro do *link*).

9. Transmissão de 3 canais de dados do usuário 3 à BS2.

A portadora contém SC5, *Scrambling Code* que define o *uplink* a partir do usuário 3, CC1 (separação do canal de dados 1 no *link*), CC2 (separação do canal de dados 2 no *link*) e CC3 (separação do canal de dados 3 no *link*).

10. Transmissão de 3 canais de dados do usuário 4 à BS2.

A portadora contém SC6, *Scrambling Code* que define o *uplink* a partir do usuário 4, CC1 (separação do canal de dados 1 no *link*), CC2 (separação do canal de dados 2 no *link*) e CC3 (separação do canal de dados 3 no *link*).

9.7 MODULAÇÃO

Estão disponíveis várias técnicas de modulação de portadoras, dentre elas QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) e BPSK (*Binary Phase Shift Keying*). Entretanto, como apenas o QPSK é utilizado no WCDMA, será este o esquema de modulação abordado na dissertação.

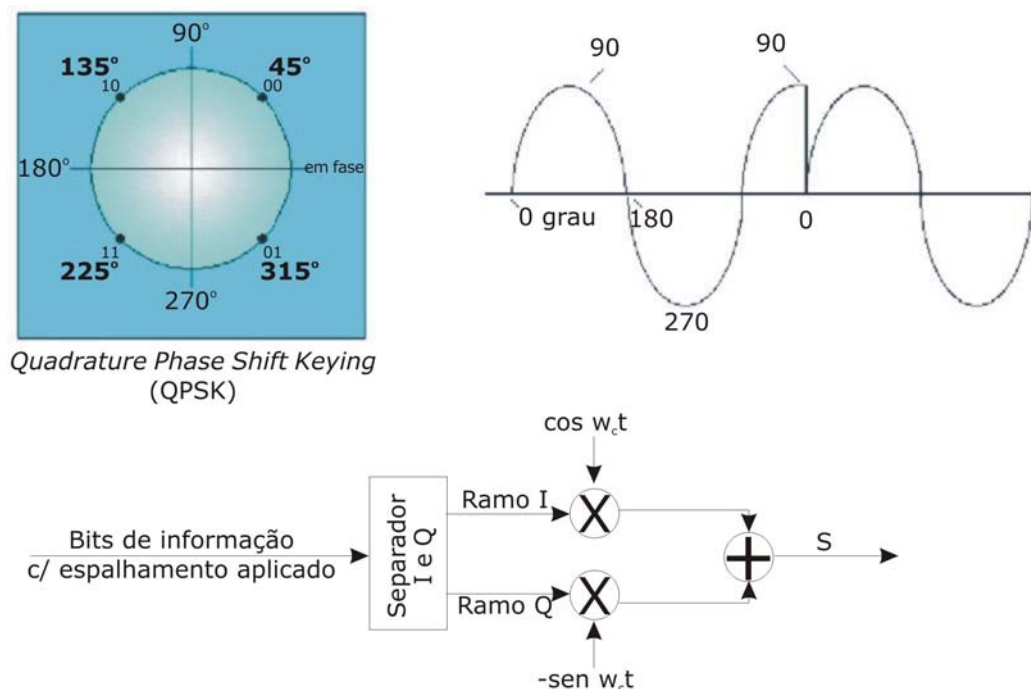


Figura 9.10 – Modulação QPSK

O método mais simples para obtenção de um sinal QPSK é utilizando dois moduladores em fase, trabalhando em paralelo. Para isso, os bits de informação têm de ser separados em dois ramos, ramo I e ramo Q. Técnica também referenciada como modulação IQ. O efeito do deslocamento de fase em 90° é produzido com a modulação de todo segundo bit de informação com $\cos \omega_c t$ e o próximo bit com $-\sin \omega_c t$. Dessa forma, haverá dois feixes de dados digitais representados por $X(t)$ e $Y(t)$ modulados em paralelo, cuja soma dos resultados são múltiplos de 90°. Os dois feixes de bits em cada estado de modulação podem estar em quaisquer das quatro fases possíveis, ou seja, 45°, 135°, 225° e 315°. A Figura 9.10 mostra os aspectos pertinentes à modulação QPSK.

9.8 CANAIS DE TRANSPORTE

Assim como implementado no padrão GSM, nas redes WCDMA também existem vários canais divididos em dois grupos distintos: Canais de Transporte e Canais Físicos.

Nesta sessão serão apresentados os canais de transporte, os quais são definidos segundo suas características e forma como os dados são transferidos na interface aérea.

9.8.1 *Dedicated Channel (DCH)*

DCH é um canal de transporte dedicado que opera no *downlink* ou *uplink* com a função de transportar informações de usuário ou de controle entre a rede e a estação móvel. DCH é transmitido em broadcast para todas as estações móveis existentes sob a cobertura de uma célula e envia informações pertinentes à alteração de taxa de transferência (a cada 10 ms), controle rápido de potência e endereçamento de estações de assinantes.

9.8.2 *Broadcast Channel (BCH)*

O canal de broadcast é um canal de transporte de *downlink* usado para divulgar as informações específicas da célula e dados do sistema. O BCH é sempre enviado para toda a célula a uma taxa fixa e reduzida.

9.8.3 *Forward Access Channel (FACH)*

É um canal de transporte de *downlink* usado para envio de informação de controle a uma estação móvel quando a localização da célula do assinante é conhecida pelo sistema. O canal também pode transportar pacotes curtos do usuário.

9.8.4 *Paging Channel (PCH)*

Canal de transporte de *downlink* usado para envio de informação de controle a uma estação móvel quando a localização da célula do assinante não é conhecida

pelo sistema. PCH sempre é transmitido a toda célula e requer identificação *in-band* da estação móvel.

9.8.5 *Random Access Channel (RACH)*

O RACH é um canal de transporte de *uplink* usado para envio de informação de controle da estação móvel para a estação base. Eventualmente, podem ser enviados pacotes curtos do usuário. O canal é recebido de todos os assinantes da célula, por isso, é caracterizado pela existência de risco de colisão.

9.9 CANAIS FÍSICOS

Um canal físico consiste de uma estrutura de três camadas: super quadro, quadro de rádio e *time slots*. Dependendo da taxa de símbolos do canal físico, a configuração do quadro de rádio ou *time slots* pode variar.

- **Super quadro** – um super quadro tem duração de 720 ms e é formado por 72 quadros de rádio. Os limites do super quadro são definidos pelo Número de Quadros do Sistema (SFN – *System Frame Number*).
- **Quadro de rádio** – é uma unidade de processamento com 10 ms de duração, qua consiste de 15 *time slots*.
- **Time slot** – um *time slot* é uma unidade formada de 2560 *chips*, os quais representam os símbolos de informação. O número de *time slots* por símbolo depende do canal físico associado.
- **Símbolo** – um símbolo é formado por uma quantidade de *chips*. O número de chips por símbolo representa o fator de espalhamento (SF) do canal físico.

9.9.1 *Dedicated Physical Data Channels uplink (DPDCH)*

O DPDCH é um dos dois canais físicos dedicados de *uplink*. É utilizado para tráfego de dados dedicados, isto é, o canal dedicado de transporte (DCH). Poderão

existir zero, um ou vários DPDCHs de uplink. Eles são multiplexados no ramo “I” do esquema de modulação IQ.

9.9.2 *Dedicated Physical Control Channel uplink (DPCCH)*

O canal DPCCH de *uplink* serve para o tráfego de informação de controle. Entende-se por informação de controle um sinal piloto contendo uma sequência conhecida de bits que fornece uma estimação do canal quanto à detecção de portadora, comandos de controle de potência de transmissão (TPC), informação de *feedback* (FBI), e um indicador da combinação de formato de transporte (TFCI) – opcional. O TFCI informa o receptor sobre parâmetros instantâneos de diferentes canais de transportes multiplexados no DPDCH de *uplink*, e corresponde aos dados transmitidos no mesmo quadro.

O DPCCH é multiplexado no ramo “Q” do esquema de modulação IQ.

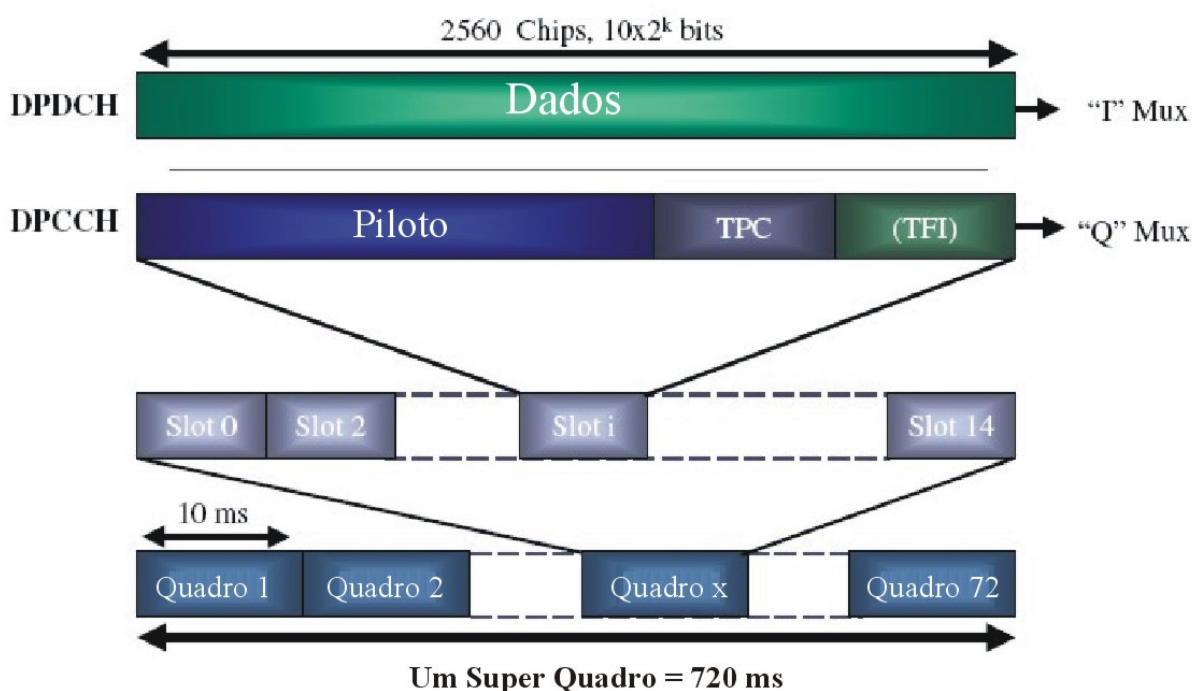


Figura 9.11 - DPDCH e DPCCH de *Uplink*

A Figura 9.11 detalha a estrutura de quadro dos canais físicos dedicados. Cada segmento de 10 ms é dividido em 15 *slots*, onde cada um tem uma duração $T_{\text{slot}} = 0,667$ ms, que, por sua vez, corresponde a um período de controle de

potência. Um super quadro representa 72 quadros consecutivos, ou seja, um período de super quadro dura 720 ms.

9.9.3 *Dedicated Physical Data/Control Channel downlink (DPDCH / DPCCH)*

Também no *downlink* existem DPDCH e DPCCH, conforme Figura 9.12.

Em contraste com o uplink, os dados de usuário e de controle não são transmitidos separadamente através dos ramos “I” e “Q”; ambos os canais são multiplexados no tempo em um feixe único de dados, posteriormente combinado num dos ramos “IQ” do esquema de modulação.

O código de canalização utilizado no espalhamento espectral dos campos do DPDCH é o mesmo aplicado no campo do DPCCH.

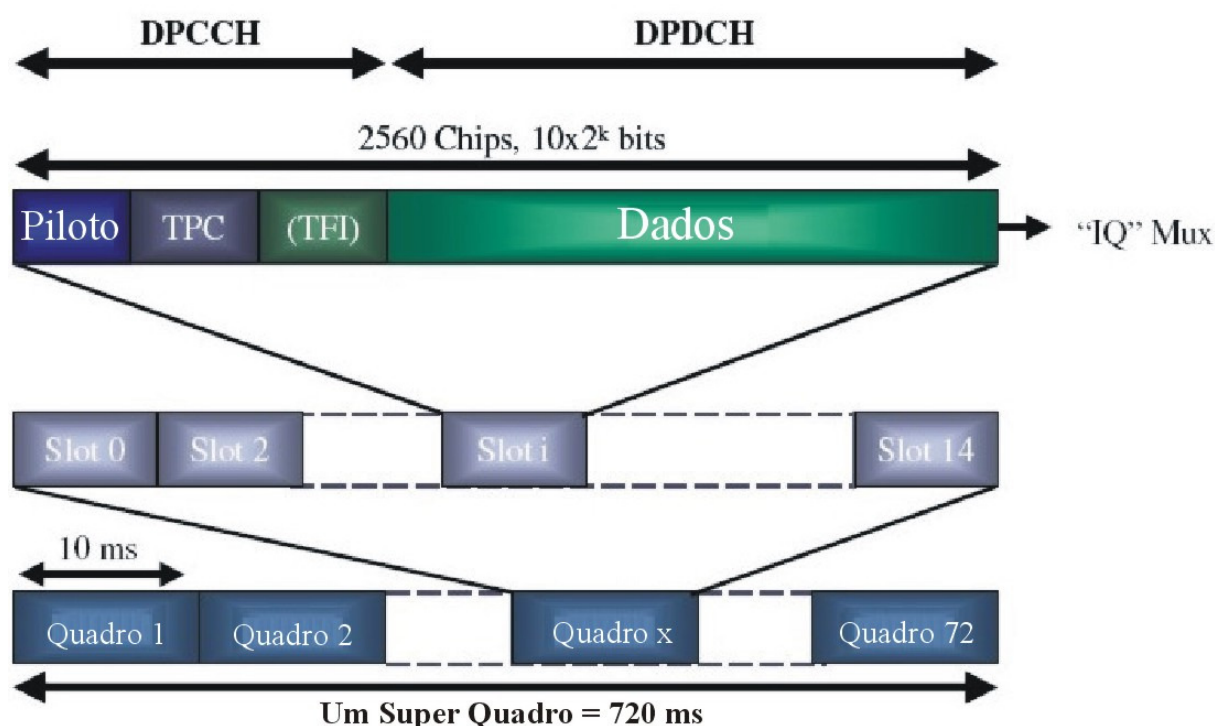


Figura 9.12 - DPDCH e DPCCH de Downlink

9.10 ASPECTOS DO DS-CDMA

Uma vez que Espalhamento Espectral e Modulação foram abordados anteriormente, outros aspectos básicos a respeito do *Direct Sequence Code Division Multiple Access* serão discutidos a seguir:

- Controle de Potência
- *Handover (Hard, Soft e Softer)*
- Respiração da Célula

9.10.1 Controle de Potência

Controle de potência é o elemento mais importante no DS-CDMA, particularmente no *uplink*. Devido ao fato de muitos assinantes utilizarem a mesma frequência e largura de banda simultaneamente, ocorre interferência entre eles.

Em casos onde não há controle de potência, pode acontecer de uma estação móvel (MS) que esteja na borda da célula sofrer maior perda por percurso de sinal do que outra estação móvel (MS) próxima à estação base (BS). Se não houvesse um mecanismo na estação base capaz de aplicar controle de potência aos equipamentos do usuário, a MS mais próxima à BS poderia facilmente tirar proveito de sua posição e bloquear grande parte da célula gerando uma falha chamada *near-far problem*. A fim de manter um equilíbrio na capacidade da rede, assumindo que todas as MS utilizam o mesmo serviço, os sinais recebidos pela BS devem ser de mesma potência, não importando de onde as MS estão transmitindo (perto ou longe da BS).

Existem três tipos de controle de potência:

- Controle de Potência *Open Loop*
- Controle de Potência *Inner-Loop* (rápido)
- Controle de Potência *Outer-Loop* (lento)

9.10.1.1 Controle de Potência *Open Loop*

Controle utilizado na configuração inicial de potência da MS no começo de uma conexão e para a transmissão de canais de dados comuns. Quando o móvel solicita acesso à rede, em vez de transmitir em potência máxima, como ocorre no GSM, ele

utiliza os passos a seguir evitando causar interferência nos demais usuários da célula.

1. O móvel mede a potência do sinal recebido da estação base.
2. O móvel lê a potência de transmissão do sinal piloto contido no canal de broadcast da Estação Base.
3. O móvel estima (calcula) a potência mínima necessária para acessar a célula e realiza uma tentativa de conexão com uma potência de transmissão pouco inferior àquela.
4. Caso a tentativa fracasse, ou seja, não haja resposta da BS, a MS elevará sua potência em passos e realizará nova tentativa.

9.10.1.2 Controle de Potência *Inner-Loop* (Rápido)

O controle de potência também é necessário para evitar que os móveis transmitam numa potência muito elevada enquanto se deslocam em direção à BS. O sistema deve garantir que o móvel transmita somente a potência suficiente para o estabelecimento da conexão e evitar interferências desnecessárias nos outros assinantes. Isso significa que o controle *Inner-Loop* deve possuir uma grande região dinâmica de atuação, e deve atuar rápido suficiente para compensar o fenômeno chamado de *fast fading* (desvanecimento rápido), no qual o nível de sinal recebido sofre desvanecimentos que dependem da frequência de rádio e da velocidade do objeto. Estes desvanecimentos acontecem porque o sinal recebido é composto de várias cópias (reflexões de diferentes objetos no ambiente) que atuam construtiva ou destrutivamente.

Uma vez estabelecida conexão, a potência de *uplink* da estação móvel pode ser controlada pela estação base através do envio de mensagens de controle de potência, bits TPC (*Transmit Power Control*), os quais também são aplicados no

controle de potência de *downlink*. A potência pode ser ajustada em passos menores que 1 dB e na velocidade de 1500 vezes por segundo.

9.10.1.3 Controle de Potência *Outer-Loop* (Lento)

O controle de potência *Outer-Loop* é necessário para manter a qualidade da comunicação em nível predefinido. Esse nível de qualidade é expresso pela Relação Sinal/Interferência (SIR), o qual possui um valor de referência constantemente monitorado e controlado pela RNC (*Radio Network Controller*) por meio dos indicadores de *Bit Error Rate* (BER) e *Block Error Rate* (BLER).

O *Outer-Loop* visa manter a qualidade determinada, sem piora, sem melhora, uma vez que o aumento da qualidade pode causar desperdícios na capacidade do sistema. Se a qualidade no *uplink* é melhor que a predefinida, a SIR é decrementada. Na situação oposta, a SIR é elevada.

9.10.2 Handover

Antes da discussão a cerca das características inerentes ao *handover*, é necessário relembrar que os sinais recebidos pela estação móvel a partir da estação base podem percorrer vários caminhos de transmissão. Esses sinais estarão dispersos quando alcançarem o móvel do assinante. Quando os sinais oriundos de caminhos múltiplos chegam em fase, eles se combinam e produzem um acréscimo do nível de sinal. Entretanto, se estão fora de fase, os sinais se subtraem, resultando em sua redução. Em casos extremos, os sinais podem estar em fases opostas e se cancelarem mutuamente. Este fenômeno é denominado *fading* de multipercurso e afeta todos os sistemas de rádio.

9.10.2.1 Receptor RAKE

A fim de contornar esse efeito indesejável, o WCDMA utiliza um dispositivo chamado Receptor RAKE, que consiste em submeter o sinal de RX a uma série de filtros de retardos variáveis, cuja saída é correlacionada com um código de

embaralhamento desejado. É então aplicado um processo chamado de Combinação de Máxima Taxa para formar o sinal de saída do receptor. Cada filtro de retardo representa um receptor individual de fases distintas, denominado *finger*. A quantidade de *fingers* em cada receptor é característica de desenvolvimento do fabricante. Se um receptor possui cinco *fingers*, quatro deles tratam os sinais de multipercurso e o quinto é responsável pela identificação de outras Estações Base do sistema. Este *finger* tem o nome de *finger* de busca, como representado na Figura 9.13.

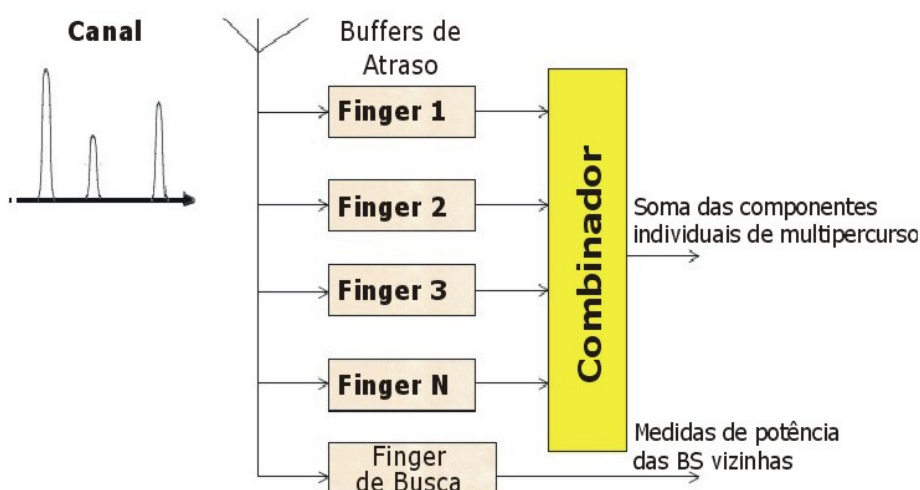


Figura 9.13 - Receptor RAKE

Com isso, ocorre a situação em que a MS está conectada a mais de uma Estação Base simultaneamente. Por exemplo, uma MS usando um receptor Rake de cinco *fingers* com uma chamada estabelecida na Célula 1, move-se em direção à Célula 2. Em certo ponto durante a conversação, um dos *fingers* começa a rastrear a Célula 2. Nesse momento haverá um ou mais *fingers* tratando os sinais da Célula 1 e o *finger* 5 rastreando a Célula 2. Essa chamada está na condição de *soft handover* com a Célula 2. Se a Célula 1 e a Célula 2 pertencem à mesma Estação Base, há uma situação de *softer handover*. Esse tipo de *handover* favorece a redução das

quedas de chamada, visto que não há quebra da conexão. Contudo, é evidenciada grande desvantagem, devido ao desperdício de valiosos recursos para manter uma única conversa a partir de duas conexões estabelecidas. Estatísticas de rede CDMA têm mostrado que as chamadas gastam grande parte de sua duração realizando *soft handover*. Ainda assim as operadoras dão grande ênfase nessa questão quando planejam suas redes, uma vez que acreditam que a redução de queda de chamadas é um aspecto a ser perseguido a todo custo, por isso considerado mais importante que o “gasto” de recursos com *soft handover*.

9.10.2.2 Situações de *Handover*

As razões principais para a existência do *handover* são a continuidade da conexão e as alterações de modo no equipamento do usuário. Devido à constante mobilidade da MS, é necessário mudar os links de rádio e as conexões de um ou mais setores (células) ou de uma Estação Base para outra (ou várias outras), sem interrupção da chamada.

Em relação às variações do modo, o sistema requer a mudança de um canal comum para um canal dedicado e vice-versa.

Existem dois tipos de *handover* no WDCMA:

- *Handover* intra-frequência – *handover* entre portadoras que utilizam a mesma frequência (*soft* ou *softer handover*).
- *Handover* inter-frequência – *handover* entre portadoras de frequências distintas (*hard handover*).

9.10.2.3 *Handover* Intra-Frequência (*Soft/Softer Handover*)

O *handover* intra-frequência possui a grande vantagem de aplicar macro diversidade no seu funcionamento, que se caracteriza como um poderoso método de combate ao *fading* durante o deslocamento. No modo ativado, através do *finger*

de busca, a estação móvel faz pesquisa contínua por novas estações base na mesma frequência de portadora atual.

No *soft handover*, uma MS está conectada a duas ou mais BS ao mesmo tempo. No *softer handover*, caso especial de *soft handover* entre células de uma mesma BS, o móvel está conectado a dois ou mais setores da mesma estação base. Ou seja, conceitualmente, o *softer handover* é iniciado e executado da mesma forma que o *soft handover* comum.

A busca por novas células é orientada pela lista de células vizinhas, que representa uma característica fundamental na gerência de comunicações móveis. Devido ao deslocamento da MS e à constante alteração do nível do sinal, a lista de células vizinhas é atualizada constantemente na estação móvel a partir de orientações passadas pela RNC. Essa lista contém informações quanto à ordem de prioridade de pesquisa do código de embaralhamento de *downlink*, refletindo em redução significativa do tempo e do esforço despendidos pela MS na busca de novos códigos (células).

Durante a pesquisa a estação móvel mede a intensidade do sinal de broadcast dos canais pilotos referentes às estações base vizinhas e compara seus valores para configurar os limiares. Baseado nas informações, a RNC ordena a MS para adicionar ou remover links em sua operação corrente.

Soft handovers são importantes para um controle de potência eficiente. Sem eles haveria cenários *near-far* onde a MS penetraria diretamente na célula adjacente sem que sua potência fosse monitorada ou controlada. *Hard handovers* muito rápidos e frequentes poderiam evitar esse efeito, entretanto, são executados com certo atraso, proibitivo nesse caso. Dessa forma, em conjunto com o controle rápido

de potência, o *soft handover* mostra-se um instrumento essencial na redução de interferência do WCDMA.

9.10.2.4 Handover Inter-Frequência (*Hard Handover*)

No WCDMA, a grande maioria dos *handovers* são intra-frequência. Quando ocorre, o *hard handover* tipicamente se apresenta de duas formas:

- *Handover* entre células que possuem alocação de frequências diferentes nas portadoras.
- *Handover* entre operadoras ou sistemas distintos, utilizando portadoras de frequências diferentes, incluindo o handover para sistema GSM.

A realização de *handovers* inter-frequência deve estar implementada no equipamento do usuário, sendo possível somente quando este é capaz de executar busca de células vizinhas em outra frequência que não a atual, sem comprometer o fluxo de informações da comunicação.

9.10.3 Respiração da Célula

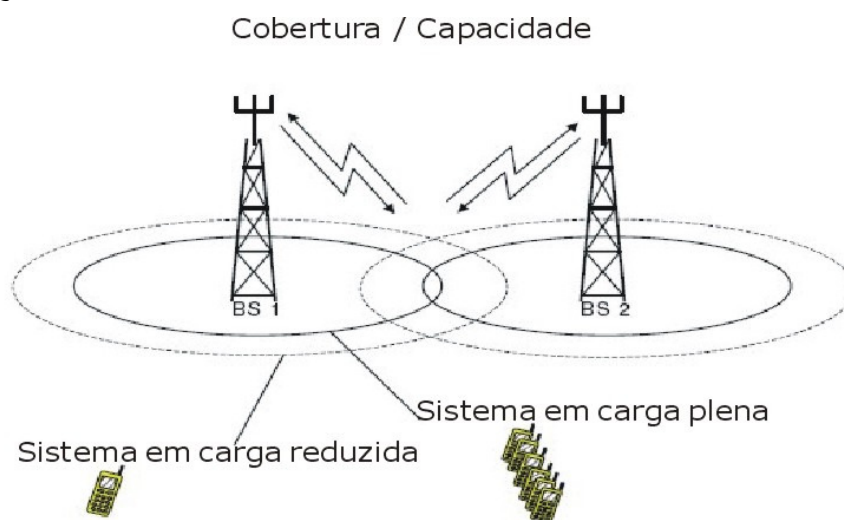


Figura 9.14 - Respiração da Célula

A cobertura do sistema WCDMA depende da carga instantânea da célula. Sempre que o tráfego aumenta, a interferência aumenta e a distância máxima entre BS e MS para transferência de informações torna-se menor. Em um sistema onde há

variação da carga de tráfego, essa característica causa expansão e compressão da cobertura da célula ao longo do tempo. A Figura 9.14 representa esse efeito que é denominado respiração da célula.

No *downlink* todas as conexões de uma determinada portadora compartilham o mesmo amplificador de potência. Se em determinado momento o tráfego é baixo, uma MS terá oportunidade de conectar-se com a BS mesmo estando muito afastada dela. Por outro lado, se o tráfego aumentar, a mesma MS não mais será capaz de realizar uma chamada a menos que passe a estar próxima da BS. Esse efeito torna difícil o uso do termo “cobertura” do setor em *downlink*.

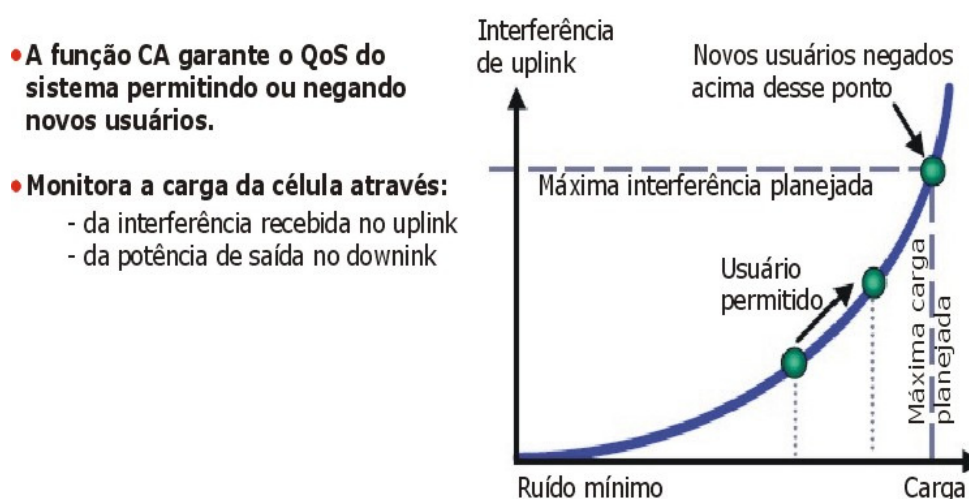


Figura 9.15 - CA: Controle de Admissão

A qualidade da informação obtida no receptor depende da relação sinal/ruído (SNR) do sinal de RF que chega ao seu demodulador. Por isso, a potência da portadora (S) recebida deve ser suficiente para superar o ruído (N) e a interferência (I), ou seja, $S/(N+I)$ tem de estar num valor superior ao limiar do receptor. A fim de se alcançar uma previsão satisfatória de cobertura num sistema em tráfego, faz-se necessário o cálculo da margem de crescimento do ruído, uma vez que a interferência aumenta juntamente com a carga do sistema.

O setor é planejado para uma determinada capacidade. O Subsistema de Gerência de Recursos de Rádio contendo controle de admissão de chamadas irá garantir o QoS do sistema permitindo ou negando o acesso de novos assinantes, conforme ilustrado na Figura 9.15.

10 PRINCÍPIOS BÁSICOS DO HSDPA

À medida que aumenta a utilização dos serviços de dados e novas aplicações são desenvolvidas, torna-se necessária a ampliação da capacidade do sistema WCDMA.

O 3GPP incluiu no WCDMA versão 5, entre outros, um novo canal de transporte de *downlink* que acrescenta suporte a serviços como interatividade e *streaming*¹⁷, resultando num considerável incremento de capacidade comparado ao WCDMA versão 99. Com a entrada da versão 5, obteve-se ainda a redução de atrasos no fluxo de dados e picos de até 14 Mbps na taxa de transferência. A essa tecnologia denominou-se HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*).

O novo canal de transporte utilizado nas redes HSDPA é chamado HS-DSCH (*High Speed Downlink Shared Channel*), que, devido à utilização de modulação de alta ordem, permite altos picos de velocidades de dados e aumento de capacidade.

HS-DSCH é compatível com rápida adaptação de *link*¹⁸ e agendamento rápido dependente de canal. Isto significa que as condições instantâneas do canal de rádio são levadas em consideração na seleção dos parâmetros de transmissão, o que permite o uso otimizado dos recursos e maior capacidade no envio de dados.

HS-DSCH suporta ARQ¹⁹ (*Automatic Repeat reQuest*) híbrido rápido com *soft combining*²⁰. A união desses recursos possibilita a redução do número de retransmissões e o tempo entre as mesmas, propiciando aumento de capacidade e redução de atraso. O uso do ARQ híbrido juntamente com o *soft combining* acrescenta robustez à adaptação de link.

¹⁷ streaming - forma de distribuir informação multimídia numa rede através de pacotes. Ela é frequentemente utilizada para distribuir conteúdo multimídia através da Internet

¹⁸ adaptação de link – característica de versatilidade de redes móveis, uma vez que demonstra a capacidade de adequação dinâmica da utilização dos recursos, segundo a quantidade de ruído, ocupação dos canais, existência de fadings, interferências, etc.

¹⁹ ARQ (*Automatic Repeat reQuest*) – é um método de controle de erro usado para transmissão de dados.

²⁰ soft combining – recurso utilizado nos sistemas HS-DSCH em conjunto com o ARQ híbrido visando aplicar resiliência ao sistema de transmissão de dados. Consiste no envio dos bits de informação utilizando o princípio da redundância incremental, formada por uma via de bits sistemáticos e uma via de bits de paridade.

Para aplicar essas melhoras com o mínimo de impacto na rede legada, uma nova camada MAC, a MAC-HS, foi introduzida para a transmissão do HS-DSCH. A MAC-HS fica localizada na estação base para reduzir o atraso de retransmissão para ARQ híbrido e possibilita a frequente atualização das estimativas da qualidade de canal, que, por sua vez, favorece a implementação de links adaptativos e o agendamento dependente do canal. Pelas mesmas razões, HS-DSCH usa um TTI (*Transmission Time Interval*) de 2ms, bem menor que os 10 ms típicos dos canais de transporte do WCDMA versão 99.

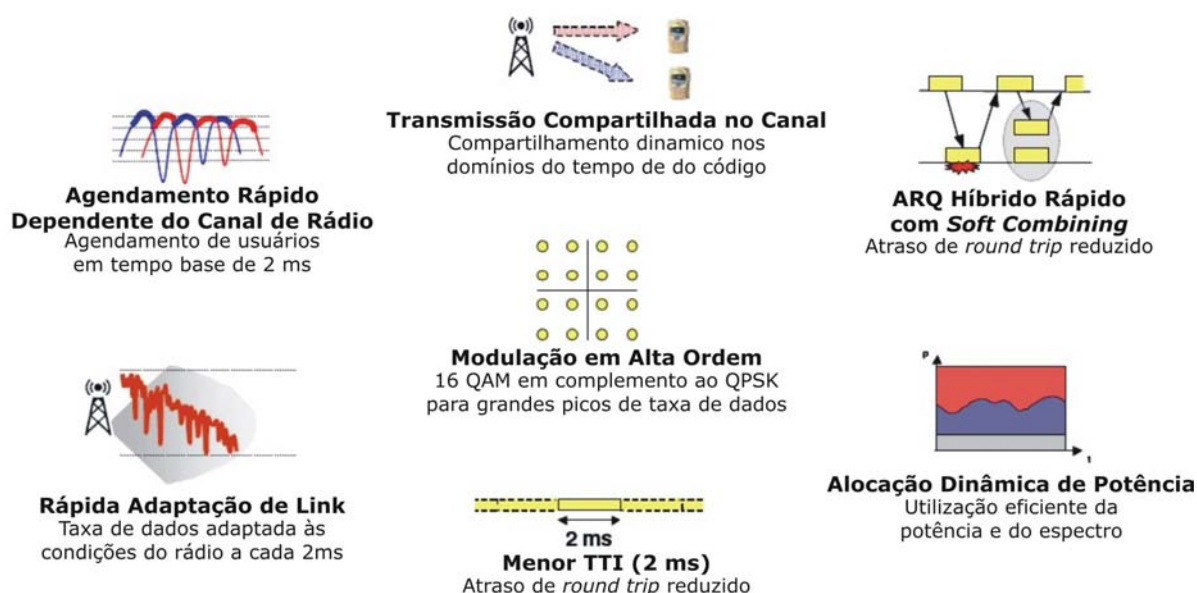


Figura 10.1 - Princípios do HSDPA

10.1 PRINCÍPIOS GERAIS

Conforme ilustrado na Figura 10.1, a transmissão do HS-DSCH é baseada em sete principais tecnologias: agendamento dependente do canal de rádio, ARQ híbrido com o *soft combining*, adaptação de link, transmissão compartilhada no canal, modulação de alta ordem, TTI mais curto (2 ms) e alocação dinâmica de potência.

10.2 AGENDAMENTO DEPENDENTE DO CANAL DE RÁDIO

As condições instantâneas do canal de rádio são levadas em consideração na seleção dos parâmetros de transmissão, o que permite o uso otimizado dos recursos e maior capacidade no envio de dados.

10.3 ARQ HÍBRIDO COM *SOFT COMBINING*

Esses recursos aplicados em conjunto possibilitam a redução do número de retransmissões e o tempo entre as mesmas, propiciando aumento de capacidade e redução de atraso. O uso do ARQ híbrido juntamente com o *soft combining* acrescenta robustez à adaptação de link, uma vez que são associados um método de controle de erro (ARQ) e o envio dos bits de informação utilizando o princípio da redundância incremental, formada por uma via de bits sistemáticos e uma via de bits de paridade (*soft combining*).

10.4 TRANSMISSÃO COMPARTILHADA NO CANAL

Recurso representado pelo envio de diferentes canais de informação sob o mesmo feixe de transmissão, separados por meio dos códigos de canalização correspondentes.

10.5 TTI REDUZIDO (2 MS)

Uma razão para o TTI reduzido é a diminuição do atraso da interface aérea através do RTT (*Round Trip Time*) menor. Isto melhora o sistema para o usuário final pois o TTI menor otimiza a interação com a camada TCP/IP.

Um pequeno TTI também é necessário, uma vez que proporciona outras funcionalidades como rápida adaptação de link, agendamento rápido e ARQ híbrido rápido.

10.6 MODULAÇÃO EM ALTA ORDEM

A modulação utilizada na transmissão de *downlink* no WCDMA versão 99 é o QPSK. Quando é necessário disponibilizar altas taxas de dados a modulação de alta ordem, como 16 QAM, pode ser aplicada.

Conforme visto na Figura 10.2, comparada com a modulação QPSK, as modulações de alta ordem apresentam largura de banda de maior eficiência, ou seja, enviam mais bits por hertz.

Dessa forma, a modulação de alta ordem pode ser usada junto com a transmissão de canal compartilhado a fim de prover altas taxas e escala de capacidade, assumindo-se que só é aplicado quando em condições propícias do canal de rádio.

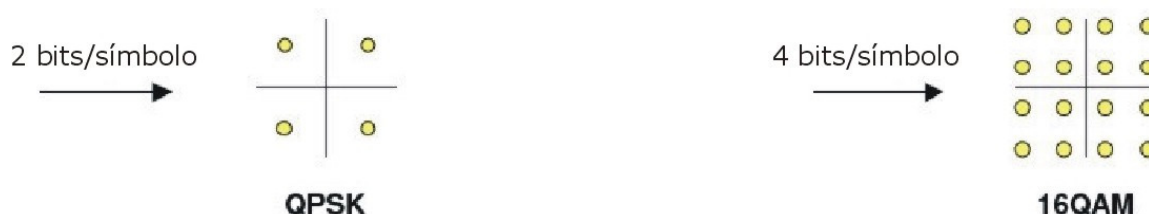


Figura 10.2 – Modulação de Alta Ordem

- HS-DSCH opera tanto com QPSK quanto 16 QAM.
- 16 QAM é recurso opcional na node-B.
- 16 QAM permite o dobro do pico de dados do QPSK.
- 16 QAM pode ser aplicado como complemento da modulação QPSK.

16 QAM é recurso obrigatório nas estações móveis, exceto em duas categorias inferiores de aparelhos.

10.7 RÁPIDA ADAPTAÇÃO DE LINK

Em um sistema celular, as condições dos links de rádio estabelecidos entre MS e BS variam significativamente, tanto em termos de sincronismo quanto da posição dos móveis dentro da célula. As principais causas desse comportamento são:

- Perda em espaço livre e sombra devido à localização momentânea do móvel.
- Nível de interferência.
- *Fading* por multipercurso.

O controle de potência é utilizado para compensar as diferenças e variações instantâneas das condições do canal de rádio de *downlink*. Em princípio, o dispositivo de controle de potência proporcionalmente aloca grande parte da potência da célula para estabelecer links em canais de condições ruins. Isso garante qualidade de serviço similar a todas as comunicações, independente das condições apresentadas na interface de rádio. Ao mesmo tempo, recursos de rádio deveriam ser melhor utilizados quando designados para links de comunicação com boas condições de canal. Dessa forma, do ponto de vista do escoamento de tráfego, o controle de potência não é o meio mais eficiente de alocação dos recursos disponíveis.

Em geral, o objetivo é garantir nível de energia suficiente por bit de informação para todos os links de comunicação, independente das variações e diferenças das condições dos canais. O controle de potência atende àquelas premissas por meio do ajuste contínuo da potência de transmissão enquanto mantém constante a velocidade dos dados enviados.

Para serviços que não requisitam taxa específica de dados, como os muitos serviços de melhor esforço existentes, o ajuste da velocidade dos dados, mantendo

a potência constante, proporciona ainda o controle de energia por bit de informação. Esta técnica é também conhecida como controle de taxa de dados ou rápida adaptação de link.

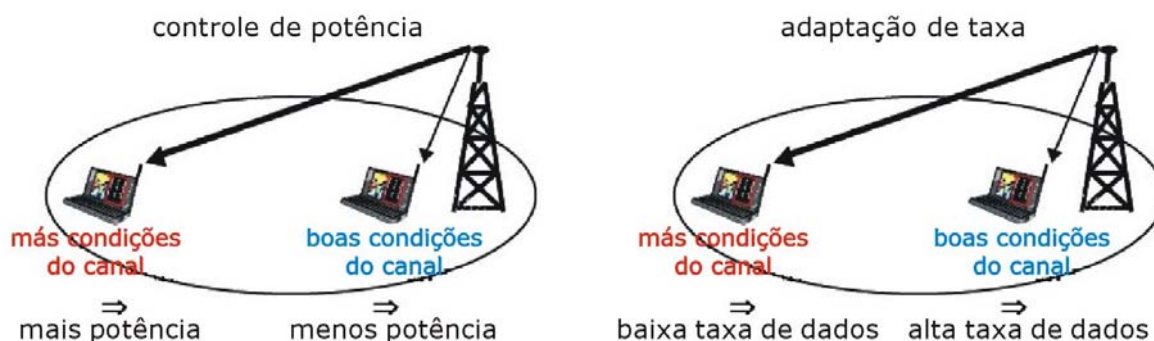


Figura 10.3 - Controle de Potência x Adaptação de Taxa

A Figura 10.3 ilustra os diferentes meios de ajuste da taxa de dados visando compensar as variações instantâneas nas condições do canal.

- Ajuste da taxa de códigos do canal. O uso do código de canalização com taxas de código mais elevadas permite taxas de dados maiores em detrimento da robustez do link quanto a interferências e *fadings*.
- Ajuste do esquema de modulação. A utilização de modulação de alta ordem (16 QAM) permite o envio de mais bits por símbolo de modulação e, conseqüentemente, maiores velocidades de dados, também em detrimento da robustez do link quanto a interferências e *fadings*.

10.8 ALOCAÇÃO DINÂMICA DE POTÊNCIA

A modulação de alta ordem pode ser combinada à adaptação de link para maximizar a utilização instantânea das condições do canal de rádio. O HS-DSCH não emprega o controle rápido de potência para compensar as variações do canal. Em vez disso, visando otimizar o *throughput* de dados do usuário em *downlink*, o sistema ajusta a velocidade de transmissão dos dados para compatibilizar com as condições instantâneas do canal e com a potência de transmissão disponível na

node-B. Depois de atender à demanda de envio dos canais comuns e dedicados, é possível designar a potência restante na célula para o HS-DSCH, resultando na utilização mais eficiente da potência da célula.

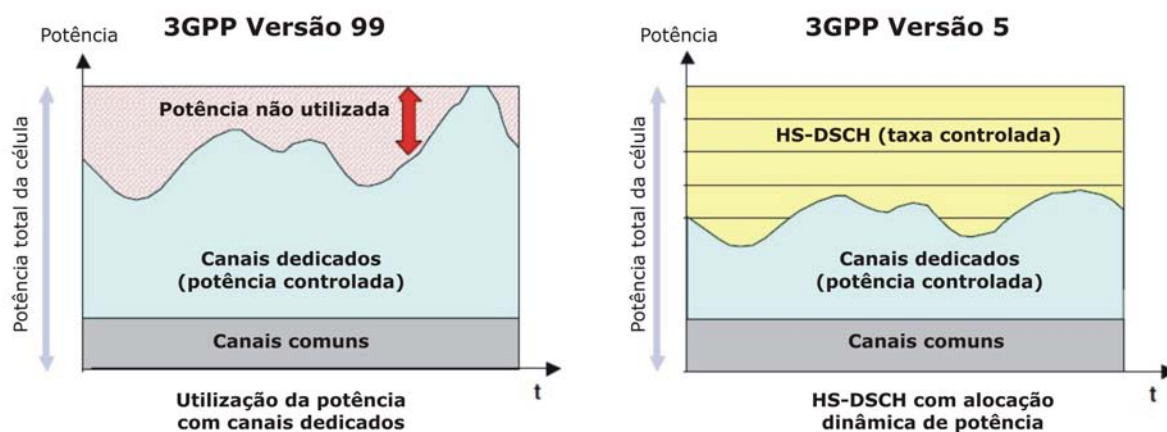


Figura 10.4 - Alocação Dinâmica de Potência

Contrariando a técnica HS-DSCH, os canais dedicados são transmitidos de modo a manter uma taxa de dados constante, em função do controle rápido de potência. Se fossem utilizados apenas canais de potência controlada seria difícil explorar a capacidade total de potência da célula. Contudo, por meio da técnica de adaptação rápida de link para serviços que toleram certos níveis de oscilação na velocidade de dados, é possível operar próximo da potência máxima da célula ao mesmo tempo em que é mantida taxa constante para os serviços atendidos pelos canais dedicados. A Figura 10.4 mostra a utilização de potência na versões 99 e na versão 5 do WCDMA. A viabilidade do cenário referente à versão 5 é favorecida pelo TTI de 2ms, intervalo curto o suficiente para que o sistema rapidamente tome as decisões relacionadas às condições do canal de rádio e à transmissão de dados.

11 SERVIÇOS

Quando lançaram as redes 2G existentes, as operadoras construíram suas redes de Core e de Acesso, com isso, cobertura e capacidade tornaram-se artigos de utilidade. Ao mesmo tempo, as operadoras 3G investiram grande quantidade de dinheiro na nova infraestrutura WCDMA e licenças 3G. Uma vez que o 3G tem sido rotulado principalmente como facilitador dos serviços avançados de Internet móvel, a Camada de Serviços torna-se peça chave no oferecimento de serviços de operadoras 3G.

A Camada de Serviços, portanto, representa um mecanismo para operadoras 3G introduzirem novos serviços que orientem para novas fontes de receita e tragam ainda serviços inovadores que as diferencie das demais concorrentes.

São aspectos importantes para uma operadora dentro da Camada de Serviços:

- Habilidade para criar serviços.
- Habilidade para lançar e gerir serviços rápida e eficientemente.
- Habilidade em tarifar os serviços de maneira flexível.

11.1 TIPOS DE APLICAÇÕES

As operadoras 3G atuais estão oferecendo aplicações de maior qualidade se comparado com o que a Internet está oferecendo. Alguns exemplos incluem: e-mail, vídeo conferência, notícias, *streaming* de mídia e TV ao vivo.

Exemplos de serviços e aplicações adicionais que podem ser explorados na Camada de Serviços estão ilustrados na Figura 11.1.

A solução de e-mail, por exemplo, pode ser encaixada em um Serviço Comum de Rede e pode disponibilizar acesso ao assinante independente do tipo de dispositivo que ele esteja utilizando no momento:

- Telefone Móvel com funcionalidade WAP: o usuário pode acessar e-mail através do navegador WAP.
- Telefone Móvel ou PDA com suporte a cliente POP3.
- Acesso baseado em POP3 ou WEB para cliente ISP.
- Acesso via telefone fixo com conversão de texto para voz.



Figura 11.1 - Áreas de Aplicação

12 METODOLOGIA DE PESQUISA

A proposta apresentada está fundamentada sobre métodos qualitativos através de pesquisa de material escrito especializado, aliado à experiência adquirida ao longo de dezesseis anos na área de telecomunicações, dos quais onze vêm sendo dedicados ao setor de telefonia celular e parte desses, consolidada em serviços de campo, vivência de problemas e soluções inerentes às comunicações móveis.

13 ASPECTOS MERCADOLÓGICOS

Do ponto de vista das operadoras, a decisão de se lançar no mercado uma nova rede móvel celular construída sobre uma tecnologia inovadora, porém recém concebida, deve ser tomada levando-se em consideração uma série de fatores:

- O investimento com equipamentos e infraestrutura.
- Se a idéia é consoante com as tendências mundiais de mercado.
- A mobilização das empresas concorrentes quanto ao lançamento de um produto similar.
- A necessidade do cliente quanto à utilização do novo sistema.
- O grau de penetração/aceitação dos serviços.
- Quais públicos consumidores serão alvo da nova política.
- Fornecimento de serviços de qualidade que vão ao encontro das expectativas dos usuários.
- O tempo de retorno e o lucro esperado com o negócio.
- A expectativa de aumento da carteira de clientes.
- A fatia de mercado que a operadora visa assimilar.

No Brasil, a primeira rede WCDMA entrou em operação no fim de 2006. Naquele momento o clima era de alguma expectativa por parte da massa consumidora e de várias incertezas por parte das operadoras. O desenho desse cenário foi confirmado à medida que as redes 3G foram inicialmente lançadas em grandes centros urbanos de forma bastante conservadora em termos de investimentos. Entretanto, logo as dúvidas de antes começaram a ser revertidas em análises e estratégias.

Rapidamente as operadoras perceberam que havia uma demanda reprimida muito maior do que a prevista. Bem pouco tempo após o lançamento das redes WCDMA, as mesmas já estariam apresentando altos índices de congestionamento e uma quantidade não estimada de potenciais clientes realizando consultas e procura pelo serviço, oriundos das mais diversas áreas geográficas, pertencentes a diferentes classes de consumo.

Em curto período de funcionamento as novíssimas redes já necessitariam de ampliação de capacidade, cobertura e investimentos, por conseguinte. Ao mesmo tempo, as operadoras puderam avaliar que o grau de aceitação do produto superou em muito os estudos realizados no pré-lançamento, a demanda era muito acima da esperada e novos nichos de mercados foram descobertos, como por exemplo, a população do interior que passou a buscar a rede 3G como alternativa à ausência de infraestrutura cabeada em suas regiões de origem. Adicionado a essa combinação de fatores, há ainda o fascínio imposto pela utilização dos dados em alta velocidade de forma nômade. Nômade é termo mais adequado, uma vez que a mobilidade ainda não está presente de maneira satisfatória. Ao assinante ainda não é permitida a navegação simultânea ao deslocamento, pois persistem vários pontos de cobertura isolados (ausência na continuidade do sinal 3G) e os fabricantes, sem exceção, permanecem em busca de uma solução consistente para o *handover* de dados, que ainda é incipiente, principalmente quanto ao *handover* do sistema 3G para o sistema GSM.

14 CONCLUSÕES

É notável o grau de complexidade a que foram submetidos os sistemas de comunicação móvel em seu curto período de evolução. Cabe enfatizar o avanço tecnológico percebido em tão pouco tempo, dos primeiros sistemas de primeira geração até a terceira geração, novos serviços e possibilidades, figurando como carros chefes a sua qualidade de desenvolvimento, a viabilidade econômica, a capacidade de despertar interesse nos usuários e neles criar necessidades. Gerando assim, um ciclo de contínuas inovações com produtos consistentes e eficientes, através do qual foi possível atingir as pessoas de todos os lugares do planeta, mudar substancialmente seu cotidiano e propiciá-las mais qualidade de vida.

Percebe-se que na evolução do sistema GSM para o WCDMA, os equipamentos que compõem o Core da rede não sofreram alterações expressivas. Procurou-se manter a base do Core GSM para servir também ao WCDMA, visando otimizar a performance e reduzir os custos de implantação da nova rede 3G. Entretanto, é na revolução ocorrida no sistema de acesso que residem as grandes diferenças entre o 2,5G e o 3G.

Pode-se dizer que as semelhanças entre as tecnologias cessam no fato de serem ambas redes sem fio, providas de mobilidade com necessidade de operar *handover* e *roaming*. Considerando-se ainda um paralelo entre os dois sistemas, no que tange às diversidades existentes, as principais podem ser resumidas segundo a Tabela 14-1.

As redes móveis vieram para ficar, trazendo a reboque uma série de benefícios, conforto e praticidade, mas também, novas expectativas, necessidades, imprevistos e desafios. Devido à reunião desses fatores, a área de telefonia móvel,

assim como a maioria esmagadora do setor tecnológico, é caracterizada pela busca incessante de melhoria e inovações. Por isso, há algum tempo foram iniciados os estudos sobre uma nova evolução de rede, e hoje já existem propostas concretas para a implantação do sistema de 4G de quarta geração, que dentro em breve estará surgindo no mercado brasileiro repleto de novidades.

Tabela 14-1 - GSM x WCDMA

GSM	WCDMA
Planejamento de Frequência	Planejamento de Códigos de Canalização
Método de Múltiplo Acesso: TDMA	Método de Múltiplo Acesso: CDMA
Tx de informações no domínio do tempo	Tx de informações por espalhamento espectral
Portadora em banda estreita	Portadora em banda larga
Modulação GMSK	Modulação QPSK
Cobertura da célula é função da potência	Cobertura da célula é função da carga e SNR.
Não suporta QoS	Suporta QoS.

15 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] RAPPAPORT, Theodore S. "Wireless Communications - Principles and Practice". Prentice Hall, 1996.
- [2] MELLO, L. Silva & LIMA, Adriano R. "Sistemas de Comunicações Celulares". Notas e Apresentações de Aula. Rio de Janeiro, 2003. CETUC / PUC-Rio.
- [3] ERICSSON. "WCDMA Network - Network Overview". 2005. 12p.
- [4] ERICSSON. "WCDMA Network – Radio Network". 2005. 63p.
- [5] HALONEN, Timo; ROMERO, Javier & MELERO, Juan. "GSM, GPRS and EDGE Performance: Evolution towards 3G/UMTS". John Wiley & Sons, jun. 2002.
- [6] NOKIA. "WCDMA System Overview". 2008. 106p.
- [7] NOKIA. "Nokia HSDPA Solution". 2003. 8p.